



TESIS - TE142599

ADAPTIF KOORDINASI RELE PROTEKSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN METODE NEURAL NETWORK-FIREFLY

DESTINA SURYA LESTARI
07111550010008

DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. MARGO PUJANTARA, M.T.
PROF. DR. IR. MAURIDHI HERY PURNOMO M.ENG.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

**ADAPTIF KOORDINASI RELE PROTEKSI DENGAN
PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN
METODE *NEURAL NETWORK-FIREFLY***

DESTINA SURYA LESTARI
07111550010008

DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. MARGO PUJANTARA, M.T.
PROF. DR. IR. MAURIDHI HERY PURNOMO M.ENG.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Destina Surya Lestari
NRP. 07111550010008

Tanggal Ujian : 19 April 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.
NIP:196603181990101001

(Pembimbing I)

2. Prof. Dr.Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
NIP:195809161986011001

(Pembimbing II)

3. Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP:197007121998021001

(Penguji)

4. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP:198109052005011002

(Penguji)

5. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng, Ph.D
NIP:197311192000031001

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP:197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“ADAPTIF KOORDINASI RELE PROTEKSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN METODE *NEURAL NETWORK-FIREFLY*”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juni 2018



Destina Surya Lestari

NRP. 07111550010008

ABSTRAK

Halaman ini sengaja dikosongkan

ADAPTIF KOORDINASI RELE PROTEKSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN METODE *NEURAL NETWORK-FIREFLY*

Nama mahasiswa : Destina Surya Lestari
NRP : 07111550010008
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng

ABSTRAK

Penambahan Distributed Generation (DG) ke sistem tenaga memberikan beberapa dampak perubahan pada jaringan distribusi. Dengan penambahan DG, penting untuk memastikan sistem proteksi yang cepat dan andal untuk menghindari pemutusan DG yang tidak disengaja bila terjadi gangguan pada jaringan distribusi. Dampak lain penambahan DG adalah proteksi terhadap sistem perlu dikoordinasikan lagi. Dalam penelitian ini, diusulkan koordinasi proteksi yang adaptif dan optimal menggunakan Algoritma *Firefly* dan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mendapatkan koordinasi yang optimal. Penelitian ini diuji pada sistem loop IEEE 9 bus yang dimodifikasi dengan penambahan DG. Optimisasi diuji dalam empat kombinasi kondisi yang berbeda. Optimisasi menggunakan algoritma *Firefly* akan didapatkan nilai *Time Dial Setting* (TDS), *Ipickup*, dan total waktu operasi yang paling cepat. Algoritma *backpropagation* digunakan dalam proses pelatihan ANN. Proses pelatihan menggunakan input I_{sc} maksimum yang diambil berdasarkan kombinasi pembangkitan, lokasi gangguan, dan jenis gangguan. Nilai TDS dan *Ipickup* hasil optimisasi *Firefly* digunakan sebagai target pelatihan ANN. Setelah dilakukan pengujian, hasil yang didapat sesuai dengan target data. Hasil kedua metode tersebut telah dibuktikan dengan simulasi ETAP yang menunjukkan bahwa *Firefly*-ANN adalah metode yang sesuai untuk memodelkan sistem koordinasi relay adaptif dan optimal.

Kata kunci: Koordinasi proteksi adapif, Pembangkit Tersebar (DG), Algoritma *Firefly*, *Artificial Neural Network*(ANN),

Halaman ini sengaja dikosongkan

ADAPTIVE COORDINATION PROTECTION RELAY WITH DISTRIBUTED GENERATION USING NEURAL NETWORK- FIREFLY

By : Destina Surya Lestari
Student Identity Number : 07111550010008
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng

ABSTRACT

The addition of Distributed Generation (DG) to the power system provides some of the impact of changes on the distribution network. With the addition of DG, it is important to ensure a fast and reliable protection system to avoid accidental disconnection of DG when there is disruption to the distribution network. Another impact of the addition of DG is that protection on the system needs to be coordinated again. In this research, it is proposed coordination of protection which is adaptive and optimal used Firefly Algorithm (FA) and Artificial Neural Network (ANN) to obtain optimal coordination. This study is tested on a modified IEEE 9 bus loop system with the addition of DG. Optimization is tested in four different combinations of conditions. Optimization using firefly algorithm will get the value of Time Dial Setting (TDS), Pickup Current (I_{pickup}), and total of the fastest operation time. Backpropagation algorithm used in ANN training process. The training process uses the input of $I_{sc\ max}$ taken based on the combination of generation, the fault location, and the type of fault. The TDS and I_{pickup} values of FA optimization results are used as ANN training targets. After testing, the results obtained in accordance with the target data. The results of both method have been proved by the ETAP simulation which shows that the FA-ANN is a suitable method to model the adaptive and optimal relay coordination system.

Keywords: Adaptive Coordination Protection, Distributed Generation (DG), Artificial Neural Network(ANN), Firefly Algorithm

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terimakasih penulis ucapkan atas kehadiran ALLAH SWT yang telah banyak memberikan nikmat sehat dan nikmat ilmu sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini, yang berjudul : **“Adaptif Koordinasi Rele Proteksi Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Metode *Neural Network-Firefly*”**.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Terimakasih kepada pihak yang membantu menyelesaikan penelitian ini, yaitu:

1. Kedua Orang tua, yang telah banyak memberikan perhatian serta dukungan baik dalam doa, semangatnya, dan dana.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT., dan Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak ilmu dan bimbingan
3. Teman-teman S2 power 2015, Adam, Dimas Okky, Nana, dan teman-teman kos A-15 yang selalu memberi dukungan.

Apabila ada kekurangan dalam penulisan ini, saran serta kritik penulis harapkan. Terimakasih.

Surabaya, 16 Juni 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Distribusi Loop	6
2.1.2 Perhitungan Arus Hubung singkat	7
2.1.3 Jenis Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik	8
2.1.4 Elemen Rele Pengaman	9
2.1.5 Syarat-Syarat Rele Proteksi	10
2.2 Rele Arus lebih	11
2.2.1 Rele Arus Lebih Waktu Instan	11
2.2.2 Rele Arus Lebih Waktu <i>Definite</i>	12
2.2.3 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	13
2.3 <i>Setting</i> Rele	13
2.3.1 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	14
2.4 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	15
2.5 <i>Directional Over Current Relay</i> (DOCR)	15
2.6 Pembangkit Tersebar (DG)	16
2.7 Konsep koordinasi Proteksi Pada Sistem Loop	16

2.8	Algoritma <i>Firefly</i>	17
2.9	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN).....	19
2.9.1	<i>Backpropagation</i>	21
2.9.2	Membangun jaringan.....	22
2.9.3	Pelatihan Jaringan.....	23
2.9.4	Algoritma <i>Levenberg-Marquardt</i>	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Mekanisme Penelitian	27
3.2	Data Sistem <i>Loop</i>	28
3.3	<i>Single Line Diagram</i>	30
3.4	Perancangan Topologi Jaringan dengan Perubahan Kondisi Pembangkitan	31
3.5	Optimisasi Koordinasi Proteksi Menggunakan Algoritma <i>Firefly</i>	31
3.6	Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif Menggunakan ANN <i>Backpropagation Lavenberg-Marquardt (BPLM)</i>	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Manual.....	39
4.2	Optimisasi Koordinasi Proteksi menggunakan <i>Firefly</i>	41
4.2.1	Skema 1 (Generator Utama, DG2, dan DG1).....	42
4.2.2	Skema 2 (Generator Utama dan DG1)	45
4.2.3	Skema 3 (Generator Utama dan DG2)	47
4.2.4	Skema 4 (Generator Utama).....	50
4.3	Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma <i>firefly</i>	52
4.3.1	Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma <i>firefly</i> pada skema 1	53
4.3.2	Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma <i>firefly</i> pada skema 2	55
4.3.3	Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma <i>firefly</i> pada skema 3	57
4.3.4	Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma <i>firefly</i> pada skema 4	59
	60
4.4	Pelatihan dan Pengujian <i>Artificial Neural Network</i>	60
4.4.1	Skema 1 (<i>Generator, DG1 dan DG2</i>)	63

4.4.2	Skema 2 (Generator dan DG1).....	66
4.4.3	Skema 3 (Generator dan DG2).....	69
4.4.4	Skema 4 (Generator)	73
BAB 5 PENUTUP.....		79
5.1	Kesimpulan	79
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN.....		83

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan IEEE 9 Bus	7
Gambar 2.2 Skema Konsep Dari Kerja Rele Proteksi	9
Gambar 2.3 Skema Konsep Dari Kerja Rele Proteksi	9
Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Instant.....	12
Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Definite.....	12
Gambar 2.6 Karakteristik Standard Inverse, Very Inverse, dan Extremely Inverse	13
Gambar 2.7 Struktur Sederhana Neuron[9]	20
Gambar 2.8 Bentuk Tiruan Neuron[12]	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Mekanisme Penelitian.....	27
Gambar 3.2 <i>Single line diagram</i> IEEE 9 bus yang dimodifikasi	30
Gambar 3.3 Diagram Alir Algoritma <i>Firefly</i>	32
Gambar 3.4 Arsitektur ANN untuk Penelitian	36
Gambar 4.1 <i>Single line diagram</i> IEEE 9 bus pada skema 1	42
Gambar 4.2 Kurva Konvergensi Skema 1.....	44
Gambar 4.3 <i>Single line diagram</i> IEEE 9 bus pada skema 2	45
Gambar 4.4 Kurva Konvergensi Skema 2.....	47
Gambar 4.5 <i>Single line diagram</i> IEEE 9 bus pada skema 3	48
Gambar 4.6 Kurva Konvergensi Skema 3.....	49
Gambar 4.7 <i>Single line diagram</i> IEEE 9 bus pada skema 4	50
Gambar 4.8 Kurva Konvergensi Skema 4.....	51
Gambar 4.9 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 pada perhitungan manual	53
Gambar 4.10 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 menggunakan algoritma <i>firefly</i>	54
Gambar 4.11 Plot Kurva TCC pada rele 8 dan rele 9 pada perhitungan manual ..	55
Gambar 4.12 Plot Kurva TCC pada rele 8 dan rele 9 menggunakan algoritma <i>firefly</i>	56
Gambar 4.13 Plot Kurva TCC pada rele 10 dan rele 11 pada perhitungan manual	57
Gambar 4.14 Plot Kurva TCC pada rele 10 dan rele 11 menggunakan algoritma <i>firefly</i>	58
Gambar 4.15 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 pada perhitungan manual ..	59
Gambar 4.16 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 menggunakan algoritma <i>firefly</i>	60
Gambar 4.17 Grafik MSE yang dilakukan beberapa kali percobaan.....	61
Gambar 4.18 Kurva <i>Best Training Performance</i>	62
Gambar 4.19 Kurva Kesesuaian hasil dengan Target	62
Gambar 4.20 Kesesuaian Data Pengujian Dan Target	63
Gambar 4.21 Simulasi Koordinasi Rele Skema 1	64
Gambar 4.22 Kurva Rele 1 dan Rele 2 Saat Hubung Singkat pada Bus 19.....	65
Gambar 4.23 Kurva Rele 11 dan 10 Saat Hubung Singkat pada Bus 19	66

Gambar 4.24 Simulasi Koordinasi Rele Skema 2	67
Gambar 4.25 Kurva Rele 10 dan rele 9 Saat Hubung Singkat pada Bus 17	68
Gambar 4.26 Kurva Rele 3 dan 2 Saat Tejadi Hubung Singkat Pada Bus 17	69
Gambar 4.27 Simulasi Koordinasi Rele Skema 3	71
Gambar 4.28 Kurva Rele 4 dan 3 Saat Hubung Singkat pada Bus 12	72
Gambar 4.29 Kurva Rele 9 dan 8 Saat Tejadi Hubung Singkat pada bus 12.....	73
Gambar 4.30 Simulasi Koordinasi Rele Skema 4	75
Gambar 4.31 Kurva Rele 5 dan 4 Saat Hubung Singkat pada bus 11	76
Gambar 4.32 Kurva Rele 8 dan 7 Saat Tejadi Hubung Singkat pada bus 11.....	77

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Generator.....	29
Tabel 3.2 Data Pembangkit Tersebar	29
Tabel 3.3 Data Beban pada Sistem.....	29
Tabel 3.4 Data Saluran pada Sistem.....	29
Tabel 4.1 Hasil perhitungan manual pada Skema 1 dan skema 2	41
Tabel 4.2 Data arus hubung singkat pada Rele Utama dan Backup Skema 1	43
Tabel 4.3 TDS dan Ipickup Kondisi Pembangkitan Skema 1	44
Tabel 4.4 Data arus hubung singkat pada Rele Utama dan Backup Pada Skema 2	46
Tabel 4.5 TDS dan Ipickup Skema 2.....	47
Tabel 4.6 Data arus hubung singkat Rele Utama dan Rele Backup Pada Skema 3	48
Tabel 4.7 TDS dan Ipickup Skema 3.....	49
Tabel 4.8 Data Arus hubung singkat Rele Utama Dan Rele Backup Pada Skema 4	51
Tabel 4.9 TDS dan Ipickup Kondisi Skema 4.....	52
Tabel 4.10 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator, DG1, dan DG2.....	64
Tabel 4.11 Kondisi Pembangkitan Terhubung generator dan DG1	67
Tabel 4.12 Kondisi Pembangkitan Terhubung generator dan DG2	70
Tabel 4.13 Kondisi Pembangkitan Terhubung generator	74

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit tersebar (*distributed generation*) merupakan alternatif baru dalam hal penyediaan tenaga listrik. Pembangkit tersebar memiliki kapasitas kecil yang terletak pada sistem distribusi tenaga listrik dan tersebar pada sistem tenaga listrik tersebut. Pembangkit tersebar berupa pembangkit dengan sumber energi terbarukan yang terletak di dekat pusat beban. Pembangkit tersebar memiliki beberapa keuntungan, antara lain sifatnya yang ramah lingkungan, andal dalam merespon perubahan beban, dapat menyuplai beban pada daerah terpencil, menambah fasilitas pembangkit, mengurangi rugi transmisi, memberikan tambahan seperti tegangan, kualitas daya, keandalan, dll.

Penempatan pembangkit tersebar pada jaringan distribusi memberikan dampak terhadap jaringan tersebut. Jaringan utama dengan penambahan pembangkit tersebar memiliki sistem proteksi yang perlu diperhatikan lebih jauh karena dalam pengoperasiannya, pembangkit tersebar tidak selalu bisa menyuplai daya ke jaringan utama. Hal tersebut disebut dengan kondisi *islanding*, kondisi dimana pembangkit tersebar terputus dengan jaringan utama[1]. Pada kondisi ini, pembangkit tersebar menyuplai daya ke beban secara mandiri sehingga topologi jaringan akan berubah dari kondisi awal. Hal tersebut berdampak pada koordinasi proteksi yang telah dikoordinasi pada kondisi awal. Saat topologi berubah, dapat mengakibatkan peningkatan atau penurunan level arus hubung singkat dimana bisa berakibat tidak optimalnya koordinasi proteksi awal. Akibat berubahnya koordinasi proteksi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, dll. Selain itu, dalam penelitian ini digunakan system IEEE 9 bus yang merupakan sistem loop dengan penambahan DG (*Distributed Generator*). Dimana jaringan loop mempunyai tingkat kesulitan yang lebih tinggi daripada jaringan radial dalam koordinasi proteksinya. Kesulitan koordinasi proteksi dalam sistem loop disini juga ditambah dengan adanya DG (*Distributed Generator*) pada sistem tersebut.

Hal ini disebabkan karena DG (*Distributed Generator*) memberikan arus kontribusi gangguan yang berbeda dalam keadaan *on* dan *off*.

Akibat beberapa masalah diatas, diperlukan suatu koordinasi yang tepat untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang baik dan cepat saat terjadi gangguan. Dalam hal mengurangi kesulitan dalam studi koordinasi proteksi dan untuk mendapatkan koordinasi rele yang cepat dalam bekerja terhadap gangguan, beberapa cara digunakan untuk mengoptimisasi beberapa parameter koordinasi proteksi. Salah satu caranya adalah dengan mengoptimisasi parameter setting rele dengan menggunakan algoritma optimalisasi. Parameter yang dioptimalkan diantaranya adalah nilai TDS (*Time Dial Setting*) untuk mendapatkan waktu operasi pada setiap rele primer dan rele back-up. Beberapa cara yang telah diusulkan untuk proses optimalisasi parameter tersebut adalah LP (*Linier Programming*), PSO (*Particle Swarm Optimization*), NLPP (*Nonlinear Programing Problem*), GA (*Genetic Algorithm*), dan EA (*Evolutionary Algorithm*). Dalam penelitian ini digunakan algoritma Firefly (FA). Penelitian yang baru menunjukkan bahwa FA sangat efisien dan dapat mengungguli algoritma metaheuristik lainnya. FA dapat menemukan optima global serta semua optima lokal secara bersamaan dengan cara yang sangat efektif [2].

Untuk mengatasi keadaan *on* dan *off* DG (*Distributed Generator*) diperlukan suatu sistem yang adaptif yaitu yang dapat menyesuaikan perubahan keadaan pada sistem. Dalam penelitian ini digunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mengatasi masalah tersebut. Algoritma ANN sudah dapat memprediksi pengaturan rele yang tepat apabila ada perubahan kombinasi dan besar daya pembangkitan. Perlindungan cepat dan adaptif telah diusulkan pada penelitian sebelumnya [3].

Skema yang digunakan pada penelitian ini adalah IEEE 9 bus dengan penambahan DG. Setelah itu dilakukan pengujian untuk mendapatkan koordinasi yang adaptif dan optimal. Hasil kedua metode tersebut telah dibuktikan dengan simulasi ETAP yang menunjukkan bahwa *Firefly*-ANN adalah metode yang sesuai untuk memodelkan sistem koordinasi relay adaptif dan optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana skema koordinasi proteksi pada sistem loop yang terhubung DG.
2. Bagaimana menerapkan metode jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*) dan optimasi menggunakan algoritma *Firefly* dalam *setting* koordinasi rele yang adaptif pada jaringan dengan pembangkit tersebar.

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah diatas maka didapat tujuan dari penelitian ini adalah

1. Penggunaan koordinasi sistem proteksi yang bersifat adaptif.
2. Penggunaan metode jaringan saraf tiruan (*Neural Network*) dan optimasi menggunakan algoritma *Firefly* dalam *setting* koordinasi rele yang adaptif.
3. Membuktikan algoritma *Firefly* - ANN cocok untuk hasil simulasi dengan penerapan pengaturan rele proteksi menggunakan *Firefly* -ANN pada IEEE 9 bus.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Pengujian gangguan hubung singkat hanya dilakukan pada bus dan kabel di dalam loop.
2. Hanya menggunakan sistem IEEE 9 bus yang dimodifikasi dengan penambahn dua pembangkit tersebar.
3. Hanya dilakukan untuk mencari pengaturan rele kurva inverse.

1.5 Kontribusi

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap perkembangan koordinasi sistem proteksi. Melalui penerapan desain dan metode yang diusulkan, diharapkan sistem ini dapat mengatasi masalah-masalah yang disebabkan oleh

penambahan pembangkit tersebar yang mempengaruhi desain proteksi dan dapat memonitoring rele proteksi.

1.6 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan ini dibutuhkan suatu metodologi untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Rancang metodologi dalam mengerjakan proyek ini antara lain :

1. Studi Literatur dan pengumpulan data

Studi literatur untuk studi teori pengaman, komponen yang digunakan didalam single line diagram seperti *Directional Overcurrent Relay* (DOCR), *rating generator*, *transformer*, kabel. Selain itu juga dilakukan studi metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Firefly* dan ANN.

2. Pemodelan Sistem

Dalam hal penelitian ini digunakan plan IEEE 9 bus yang dimodifikasi dengan penambahan dua DG. Sehingga didapatkan 4 kombinasi pembangkitan. Selanjutnya dilakukan simulasi load flow untuk mendapatkan nilai arus full load (I_{FLA}) pada saluran dan hubung singkat untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat.

3. Simulasi

Data hasil dari pemodelan sistem digunakan untuk proses optimisasi menggunakan algoritma *Firefly*. Hasil optimisasi akan dijadikan target data dalam pelatihan ANN, dan 80 % dari data akan di latih menggunakan algoritma ANN sehingga didapatkan nilai bobot dan bias yang paling baik.

4. Analisa

Hasil simulasi dimasukkan pada *single line diagram* didalam aplikasi ETAP. Setelah itu pengujian koordinasi rele disetiap kombinasi pembangkitan

5. Kesimpulan

Setelah beberapa tahapan penelitian akan ditarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik. Bagian terpenting dalam mendesain proteksi perlu dipertimbangkan seperti jenis relay, ukuran circuit breaker dan fuse, jenis dan ukuran trafo arus, koordinasi relay, dan komponen-komponen yang digunakan untuk menjaga stabilitas sistem. Sistem proteksi berfungsi untuk mengatasi gangguan sistem secepat mungkin dan meminimalkan waktu pemutusan operasi pada sistem tenaga listrik[1].

Dalam koordinasi proteksi, rele arus lebih (OCR) dikenal sebagai tipe relay yang paling banyak digunakan. OCR beroperasi ketika mendeteksi arus gangguan dan kemudian memberikan instruksi pada circuit breaker (CB) untuk membuka. CB memastikan bahwa peralatan listrik tidak terpengaruh oleh arus gangguan. Untuk meningkatkan operasi sistem tenaga selama kesalahan, perangkat proteksi utama dan backup digunakan dan dikoordinasikan untuk melindungi sistem dari kesalahan [2].

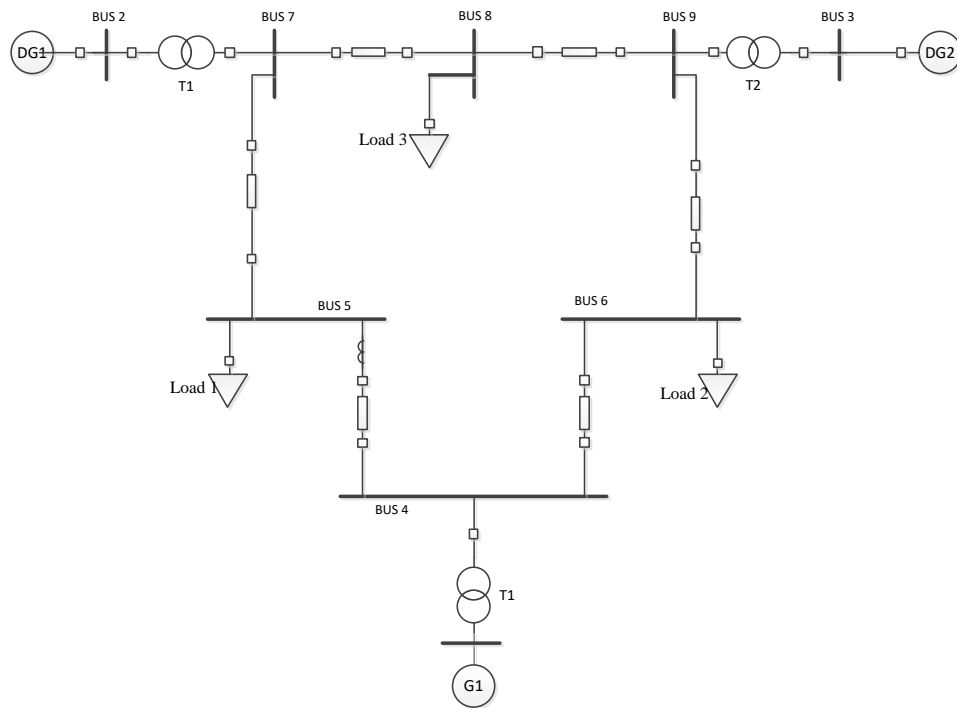
Baru-baru ini, semakin banyak pembangkit tersebar atau distributed generators(DG), baik sinkron dan asinkron - tergantung pada sumber energi yang digunakan, sedang terhubung ke grid. Implementasi DG dapat menyebabkan kesulitan untuk skema perlindungan sistem daya yang ada dan menyebabkan perangkat proteksi yang berubah-ubah. Hal ini menyebabkan perlunya skema proteksi yang adaptif untuk mengatasi adanya penambahan DG ke sistem proteksi[3]. Secara tradisional, jaringan distribusi terdiri dari jaringan radial dengan sumber tunggal (yaitu, gardu), yang dilengkapi dengan perangkat proteksi di pemutus sirkuit (CB) di gardu. Setelah pemasangan DGs, jaringan distribusi radial tradisional memiliki beberapa sumber. Besarnya perubahan dan arah arus hubung singkat dapat menyebabkan operasi sistem yang berubah dalam relai proteksi yang dikonfigurasi untuk system [3].

2.1.1 Sistem Distribusi Loop

Idealnya, sistem jaringan loop bertindak seperti dua jaringan radial yang mempunyai arah yang berlawanan di dalam sistem loop, titik pembagi antara mereka tergantung pada distribusi beban di sistem loop. Kelemahan sistem distribusi tenaga listrik radial dapat diatasi dengan memperkenalkan sistem distribusi tenaga listrik loop. Susunan rangkaian saluran membentuk loop, yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil[4].

Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial.

Gambar merupakan sistem loop IEEE 9 bus yang akan digunakan pada penelitian ini



Gambar 2.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan IEEE 9 Bus

Keuntungan dari sistem ini adalah :

- Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus-menerus
- Tingkat keandalannya lebih tinggi daripada sistem radial.
- Memiliki kapasitas dan keberlangsungan pelayanan sangat baik
- Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu keberlangsungan pelayanan

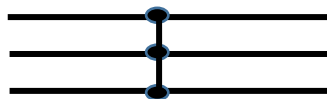
Kelamahan dari sistem ini adalah:

- Biaya konstruksi dan pembangunan lebih mahal dibanding sistem radial
- Desain koordinas proteksi yang lebih kompleks dibandingkan sistem radial

2.1.2 Perhitungan Arus Hubung singkat

Perhitungan arus hubung singkat dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sederhana sebagai berikut:

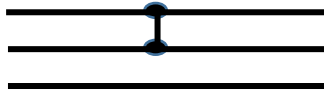
- Hubung Singkat Tiga Fasa



$$Isc_{3\phi} = \frac{V_{ln}}{X_1} \quad (2.1)$$

Pada hubung singkat ini, ketiga fasa saling bersentuhan. V_s merupakan tegangan nominal *line to netral* dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

- Hubung Singkat Antar Fasa



$$Isc_{2\phi} = \frac{V_{ll}}{X_1 + X_2} \quad (2.2)$$

$$Isc_{2\phi} = \frac{\sqrt{3} V_{ln}}{X_1 + X_2} \text{ dan jika } X_1 = X_2$$

Maka persamaan menjadi :

$$Isc_{2\phi} = \frac{1}{2} \sqrt{3} \frac{V_{ln}}{X_1} = 0,866 Isc_{3\phi} \quad (2.3)$$

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah.

2.1.3 Jenis Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

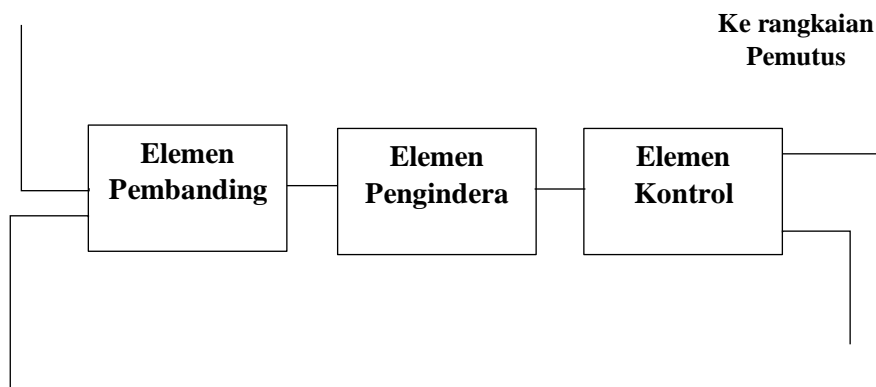
Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang diakibatkan oleh berbagai gangguan tersebut maka diperlukanlah rele proteksi. Rele pengaman merupakan peralatan yang bekerja secara otomatis untuk mengatur rangkaian listrik akibat adanya perubahan lain. Perangkat sistem proteksi merupakan sistem yang terdiri dari rele sebagai alat pendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberikan perintah trip ke PMT, trafo arus atau tegangan sebagai alat pentransfer besaran listrik primer dari sistem ke rele, pemutus tegangan (PMT), baterai, *wiring*.

Penyetelan rele harus dilakukan dengan benar supaya tidak terjadi kesalahan pada saat operasi. Oleh sebab itu, hal-hal yang mempengaruhi penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan. Pada Gambar 2.2 digambarkan skema konsep dari kerja rele proteksi.



Gambar 2.2 Skema Konsep Dari Kerja Rele Proteksi

2.1.4 Elemen Rele Pengaman



Gambar 2.3 Skema Konsep Dari Kerja Rele Proteksi

Rele pengaman dapat dibedakan menjadi tiga elemen dasar, antara lain:

1. Elemen pengindra

Elemen ini berfungsi sebagai perasa yaitu untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi, dll. Pada elemen ini, besaran-besaran yang masuk akan dirasakan apakah keadaannya merupakan keadaan yang diproteksi yang mendapat gangguan atau dalam keadaan normal yang selanjutnya akan dikirim ke elemen pembanding. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindra adalah trafo arus.

2. Elemen pembanding

Elemen ini berfungsi untuk menerima besaran dari elemen pengindra dan selanjutnya besaran itu dibandingkan besaran listriknya pada saat keadaan normal dengan besaran yang diatur pada rele.

3. Elemen kontrol

Elemen ini berfungsi untuk membuat perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan segera memberikan isyarat pada pemutus rangkaian

untuk terbuka. Komponen yang berfungsi sebagai elemen kontrol adalah kumparan penjatuh.

2.1.5 Syarat-Syarat Rele Proteksi

Rele pengaman atau proteksi merupakan kunci dari kelangsungan kerja suatu sistem tenaga listrik maka diperlukan syarat-syarat untuk menjamin keandalan dari sistem tersebut. Syarat-syarat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kepekaan

Rele pengaman harus peka terhadap gangguan yang ada sehingga dapat dengan cepat mendeteksi adanya gangguan tersebut. Kepekaan pada rele pengaman adalah kemampuan merespon jika kondisi kerja menyimpang dari kondisi normal. Jika suatu kondisi kerja normal mengalami gangguan, sistem pengaman harus peka dengan cepat.

2. Kecepatan bereaksi

Kecepatan bereaksi disini merupakan kecepatan pengaman memisahkan gangguan dari bagian sistem lainnya untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat adanya gangguan. Untuk memberikan kecepatan bereaksi yang baik, suatu pengaman bisa diberikan waktu tunda namun waktu tunda harus secepat mungkin. Waktu bereaksi harus diusahakan secepat mungkin untuk mencegah kerusakan-kerusakan pada alat yang ditimbulkan gangguan tersebut.

3. Selektifitas

Selektifitas dalam pengaman merupakan pengaman harus dapat menyeleksi bagian sistem yang terkena gangguan dengan kata lain hanya sistem yang terganggu yang menjadi kawasan pengamanan utama.

4. Keandalan

Keandalan dalam sistem pengaman memiliki tiga aspek penting yaitu dependability, security, availability. Dimana dependability merupakan tingkat bekerjanya, rele pengaman harus dapat diandalkan. Security merupakan kepastian untuk tidak salah dalam bekerja. Availability merupakan perbandingan dimana rele pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

5. Ekonomis

Sistem pengaman harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan pengaman tersebut. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi.

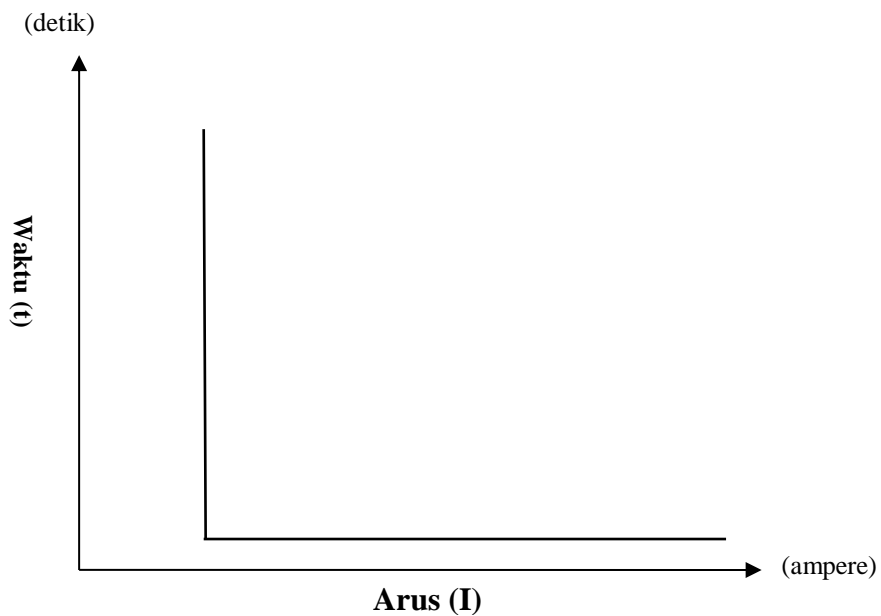
2.2 Rele Arus lebih

Rele arus lebih merupakan rele proteksi jika terdeteksi arus yang melebihi set poin yang sudah ditentukan dibagi menjadi tiga berdasarkan jenis kurjanya [2]:

1. Rele Arus lebih Waktu *Instan*
2. Rele Arus Lebih Waktu *Definite*
3. Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

2.2.1 Rele Arus Lebih Waktu Instan

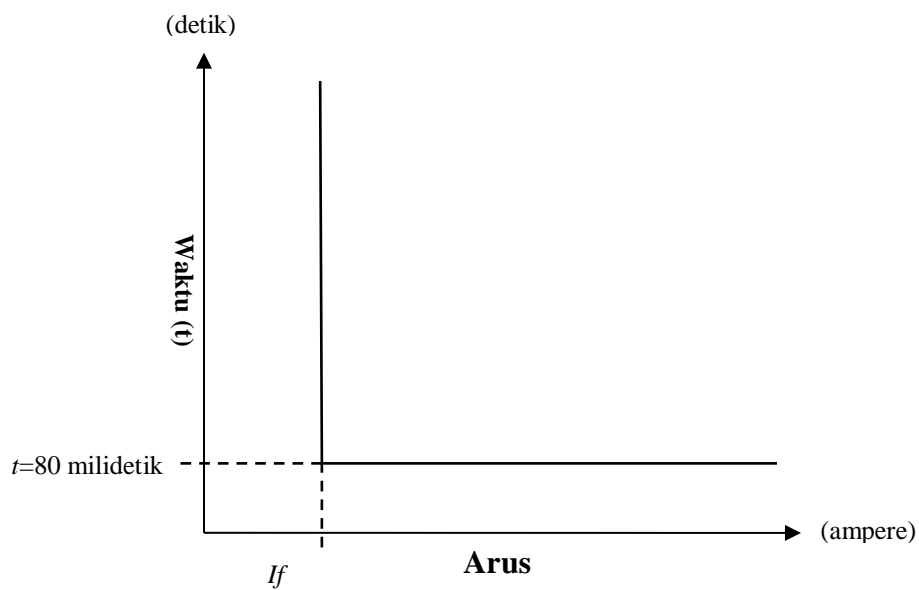
Rele yang cara kerjanya seketika atau tanpa waktu jeda ketika terdeteksi arus melebihi nilai yang sudah ditentukan, rele bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Gambar 2.2 menunjukkan kurva bahwa semua level arus yang terdeteksi melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih instan.



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Instant

2.2.2 Rele Arus Lebih Waktu *Definite*

Rele bekerja pada karakteritik waktu tertentu berdasarkan waktu kerjanya tanpa melihat besarnya arus gangguan. Semua level arus yang memiliki nilai yang melebihi *pickup set point*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*).

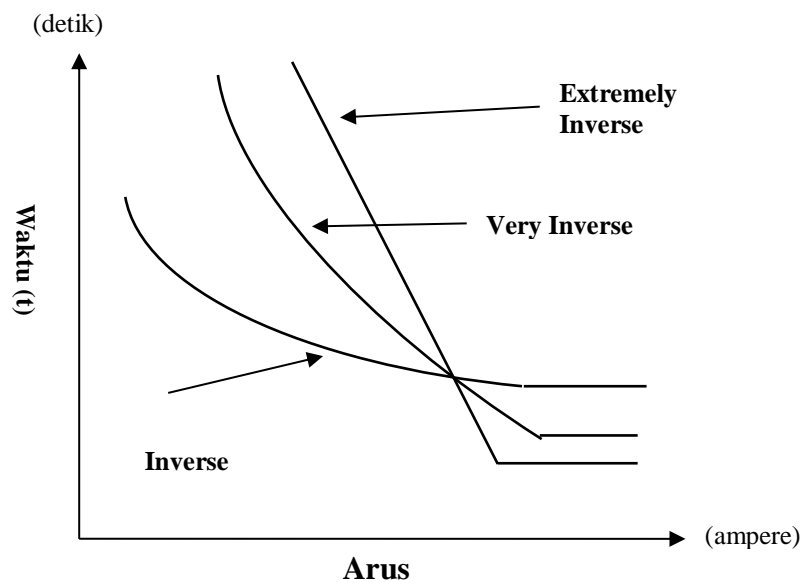


Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Definite

2.2.3 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Karakteristik rele arus lebih waktu *invers* yaitu semakin besar gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang lebih cepat. Dan jika arus gangguan bernilai kecil, maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu *invers* digambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut *time-current characteristic* (TCC). Dalam standart. TCC adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

Karakteristik invers dalam standart IEC 60255-3 dan BS 142. Dalam karakteristik standart ini kurva didefinisikan menjadi standart *inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*. Standar lain misalnya *IEEE std 242-2001* yaitu *long time inverse*, *very inverse*, *short time inverse*, dan *extremely inverse*[4].



Gambar 2.6 Karakteristik Standard Inverse, Very Inverse, dan Extremely Inverse

2.3 Setting Rele

Dalam melakukan *setting* pada rele arus lebih diperlukan pemahaman lebih lanjut mengenai aliran daya dan studi hubung singkat. Setting Rele Arus Lebih Waktu *definite*

Pada Rele arus lebih instan, untuk menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc,min}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Untuk *setting* ditentukan [4]:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min} \quad (2.4)$$

2.3.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Dalam *setting* rele arus lebih waktu *inverse* dapat ditentukan dua bagian yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk setelan *pickup*, penyetelan rele arus lebih tidak melebihi batas rele yang bekerja pada saat beban maksimum. Atau setelan arusnya harus melebihi arus beban maksimum. Biasanya arus *pickup* ini ditentukan dengan memilih *tap* yang digambarkan pada persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} \quad (2.5)$$

I_{set} merupakan arus *pickup* dalam *Ampere*. Menurut *standard british BS 142* batas penyetelan adalah $1,05 I_{fla} < I_{set} < 1,4 I_{fla}$ dimana I_{fla} adalah arus saat beban maksimum peralatan.

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dapat digunakan persamaan sebagai berikut[4]:

$$td = \frac{k \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \quad (2.6)$$

Keterangan :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I_{scmax} = nilai arus hubung singkat maksimum (*Ampere*)

I_{set} = arus *pickup* (*Ampere*)

α = koefisien *invers* 1 (lihat tabel 2.1)

k = koefisien *invers* 2 (lihat tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien *Inverse Time Dial*[5]

Tipe Kurva	Koefisien	
	α	k
<i>Standard inverse</i>	0,02	0,14
<i>Very inverse</i>	1,00	13,50
<i>Extremely inverse</i>	2,00	80

2.4 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Koordinasi ini digunakan untuk menentukan waktu tunda pada rele pengamanan. Rele pengamanan utama dan rele pengamanan *backup* tidak boleh bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu diperlukan adanya waktu tunda antara rele utama dan rele *backup*. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standart *IEEE* 242:

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1s

Faktor keamanan : 0,12-0,22

Untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s.

2.5 Directional Over Current Relay (DOCR)

DOCR merupakan rele yang digunakan untuk keperluan proteksi pada jaringan loop atau jaringan yang terhubung pada beberapa pembangkit. Rele direksional diperlukan sebab pada jaringan demikian rele arus lebih biasanya tidak bekerja secara selektif.

Rele direksional sama seperti rele arus lebih biasa akan tetapi ditambha dengan elemen arah yang dapat menentukan arah gangguan yang dapat digunakan untuk memutuskan apakah gangguan perlu diputus atau tidak.

Elemen *directional* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya. Untuk kondisi *forward*, I lag terhadap V dan untuk kondisi *reverse* I lead terhadap V .

2.6 Pembangkit Tersebar (DG)

Pembangkit tersebar atau *Distributed generation* (DG) dapat diartikan sebagai pembangkit tenaga listrik tersebar yang berada dalam jaringan distribusi. *Distributed generation* pembangkit listrik yang memiliki kapasitas kecil antara 15-10.000kW[5]. Beberapa aplikasi dari *distributed generation* antara lain sebagai berikut:

- *Peaking power (load shaving)*

DG beroperasi antara 200-300 jam tiap tahun, hal tersebut dilakukan untuk mengurangi harga listrik yang harus dibayar oleh pelanggan ketika kondisi beban puncak.

- *Continuous power*

DG beroperasi paling sedikit 6000 jam dalam setahun, hal tersebut dilakukan untuk membangkitkan tenaga listrik untuk sebagian atau seluruh fasilitas secara terus menerus. Pada aplikasi ini, DG memiliki karakteristik efisiensi tinggi, biaya pemeliharaan rendah dan emisi rendah. Pada aplikasi ini, DG banyak digunakan oleh pelanggan jenis industri dan komersial

- *Combined Heat and Power (CHP)*

DG beroperasi paling sedikit 600 jam dalam setahun, hal tersebut dilakukan untuk membangkitkan tenaga listrik untuk sebagian atau seluruh fasilitas. Pada aplikasi ini memiliki efisiensi yang tinggi karena energi panas yang dibuang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan udara ruangan atau untuk keperluan lainnya.

- *Emergency power*

DG berfungsi sebagai *backup generator* yang dihubungkan ke beban jika terjadi gangguan pada jaringan. Aplikasi ini digunakan untuk pelanggan penting dimana saluran tenaga tidak boleh padam seperti fasilitas kesehatan.

2.7 Konsep koordinasi Proteksi Pada Sistem Loop

Dalam sistem loop, rele terakhir yang harus diatur adalah yang pertama, dimana pengaturan awal diasumsikan. Hal ini kontras dengan sistem radial

dimana koordinasi diselesaikan dalam satu jalur. Sifat iteratif pengaturan rele dan koordinasi konvergen ketika kembali ke rele yang sama.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1, sistem ang dilindungi oleh rele directional pada kedua ujungnya. Oleh karena itu harus mempertimbangkan dua loop, yaitu satu loop dibentuk dalam arah jarum jam dan yang lain dalam arah berlawanan arah jarum jam. Dalam hal ini loop yang searah jarum jam adalah R1-R6 dan loop yang berlawanan jarum jam adalah R7-R1.

Perhatikan loop yang satu arah untuk pengaturan. Dapat memulai pengaturan dari salah satu dari enam rele, yaitu R1, R2, R3, R4, R5, dan R6. Misalkan dimulai dari R6, yaitu pengaturan dalam relai R6 diasumsikan dengan tepat. Biasanya nilai TDS diambil dalam batasan . R6 akan diatur untuk berkoordinasi dengan R5, karena R5 merupakan backup R6. Sekarang R5 harus berkoordinasi dengan R4, R4 dengan R3, R3 dengan R2, R2 dengan R1, dan R1 dengan R6. Dengan demikian kita dapat melihat bahwa pengaturan R6 telah berubah dari yang awalnya berkoordinasi dengan R5. Setelah iterasi pertama, kami memperbarui pengaturan R6 ke pengaturan baru yang sesuai, untuk berkoordinasi dengan R1, sehingga menutup loop. Jika pengaturan R6 telah berubah secara signifikan, maka kita ulangi proses di atas dengan menyesuaikan pengaturan semua rele di loop lagi. Pengaturan dilakukan dalam rele yang berlawanan arah jarum jam juga. Sehingga didapatkan koordinasi rele yang lengkap.

2.8 Algoritma *Firefly*

Sejumlah pendekatan untuk mengatasi masalah optimasi seperti menggunakan metode konvensional, bacterial foraging (BF), logika fuzzy (FL), algoritma genetika (GA) [8], partikel swarm optimasi (PSO), jaringan saraf tiruan (JST), dan artificial bee colony (ABC) telah digunakan untuk mengatasi masalah optimasi. Untuk teknik pengoptimalan apa pun, konvergensi dan nilai optimal yang dicapai adalah penting[6].

Pendekatan secara konvensional berdasarkan kesalahan kuadrat integral (ISE) cukup terlibat dan memakan waktu dan sebagian besar kasus memberikan hasil yang kurang optimal. Penelitian terbaru telah mengidentifikasi beberapa

kekurangan dalam kinerja GA. Konvergensi awal GA menurunkan efisiensinya dan mengurangi kemampuan pencarian. Untuk mengatasi teknik BF tersedia di mana jumlah parameter yang digunakan untuk mencari total ruang solusi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang ada di GA. Seperti GA, PSO juga kurang dalam penyelesaian optimum lokal. Para penulis dalam [7] telah menunjukkan bahwa kinerja BF lebih baik daripada PSO dalam hal konvergensi, ketangguhan dan presisi.

Kinerja tuning algoritma ABC lebih baik daripada algoritma PSO[8]. Baru-baru ini algoritma metaheuristik baru yang dikenal sebagai “Firefly Algorithm” (FA). FA terinspirasi oleh perilaku kunang-kunang yang berkedip-kedip. Penelitian yang baru menunjukkan bahwa FA sangat efisien dan dapat mengungguli algoritma metaheuristik lainnya [1]. FA dapat menemukan optima global serta semua optima lokal secara bersamaan dengan cara yang sangat efektif. Keuntungan lebih lanjut dari FA adalah bahwa kunang-kunang yang berbeda akan bekerja hampir secara mandiri, sehingga sangat cocok untuk implementasi paralel [9]. Senthilnath et al. [10] menunjukkan superioritas FA dalam pengelompokan atas dua teknik terinspirasi alam lainnya - ABC dan PSO dan juga membuktikan bahwa teknik FA adalah metode yang efisien, andal, dan kuat. Yang dkk. [11] menunjukkan keunggulan FA atas BF, PSO dan pendekatan lain dalam hal kualitas solusi dan reliabilitas berdasarkan hasil simulasi dan juga menunjukkan kekokohan dan kemampuan FA dalam masalah pengoptimalan yang kompleks.

Algoritma *Firefly* merupakan Algoritma yang diusulkan oleh Xin-She-Yang adalah algoritma yang terinspirasi dari alam berdasarkan perilaku kedip kunang-kunang[12]. Hampir setiap spesies kunang-kunang memiliki kedipan yang unik, berirama kecil, dan berirama sedang. Karena sifatnya yang unisex semua kunang-kunang akan tertarik kearah kunang-kunang lain. Daya tarik berbanding lurus dengan kecerahan kunang-kunang [6].

Algoritma Firefly merupakan metode yang sangat efisien dan lebih baik daripada algoritma konvensional, Algoritma Firefly dikembangkan dengan menggunakan tiga aturan ideal sebagai berikut [7]:

1. Semua kunang-kunang adalah unisex dan tertarik pada kunang-kunang lain dipengaruhi oleh intensitas cahayanya.
2. Kunang-kunang yang redup akan mendekati kunang-kunang yang lebih terang.
3. Kecerahan kunang-kunang ditentukan oleh nilai fungsi objektif. Semakin benar nilai kunang-kunang tersebut, maka semakin terang intensitas cahayanya.

Kunang-kunang yang memiliki tingkat kecerahan lebih rendah akan beralih ke kunang-kunang yang memiliki tingkat kecerahan lebih tinggi. Secara matematis, [6] mengekspresikan daya tariknya sebagai:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma \cdot r^n} \quad n \geq 1 \quad (2.8)$$

Dimana β_0 adalah daya tarik pada $r = 0$ [6] dan juga pergerakan kunang-kunang (i) tertarik ke kunang-kunang lainnya yang lebih menarik (lebih terang) (j).

Daya tariknya bisa dicapai dengan mengatur parameter β_0 dan γ . Jarak r_{ij} antara dua kunang-kunang diberikan dalam persamaan [6]:

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2.9)$$

Dimana $x_{i,k}$ adalah komponen k^{th} dari koordinat spasial j^{th} kunang-kunang dan d adalah jumlah dimensi. Indeks $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ adalah indeks yang dipilih secara acak. Walaupun dipilih secara acak, pasti berbeda dengan i . Di sini, m adalah jumlah kunang-kunang. Secara umum, $\beta_0 \in [0, 1]$. Secara umum, nilai γ adalah antara 0 dan 10 [6].

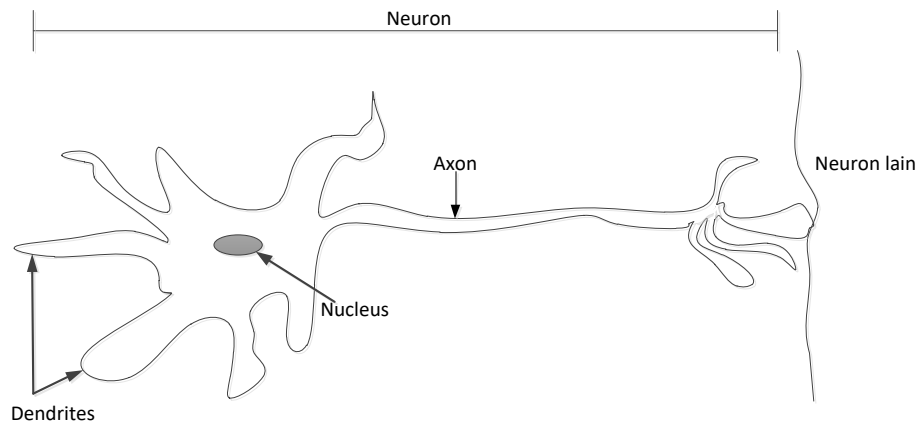
Pergerakan kunang-kunang (i) ke kunang-kunang yang lebih terang (j), ditentukan dalam persamaan:

$$x_i = x_i + \beta(r) \times (x_i - x_j) + \alpha \left(\text{rand} - \frac{1}{2} \right) \quad (2.10)$$

2.9 Artificial Neural Network (ANN)

Neural Network atau lebih dikenal dengan nama *artificial Neural Network* diakui sebagai salah satu cabang ilmu pengetahuan sejak McCulloch-Pitts (1943)

memperkenalkan teorinya dalam *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, Donald Hebb(1949) tentang *Organization of Behavior* dan Rosenblatt (1958) tentang *perceptron*. Neuron adalah satuan unit pemroses terkecil pada otak, bentuk sederhana sebuah neural yang oleh para ahli dianggap sebagai satuan unit pemroses tersebut digambarkan sebagai berikut[13] :



Gambar 2.7 Struktur Sederhana Neuron[9]

Tiruan neuron pada *Neural Network* adalah elemen pemroses seperti pada Gambar 2.2 yang dapat berfungsi seperti halnya sebuah neuron. Sejumlah signal masukan x dikalikan dengan masing-masing penimbang yang berkesesuaian dengan W . Kemudian dilakukan penjumlahan dari seluruh hasil perkalian dan keluaran yang di hasilkan dilakukan kedalam fungsi pengaktif untuk mendapatkan tingkatan derajat sinyanya keluarannya $F(x.W)$ [13].

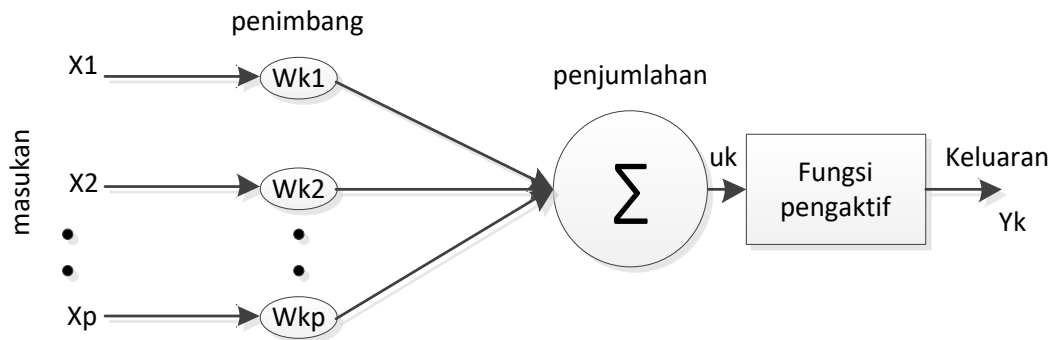
Misalkan ada n buah sinyal masukan dan n buah penimbang, fungsi keluaran dari neural adalh seperti persamaan berikut.

$$F(x, W) = f(w_1x_1 + \dots + w_nx_n) \quad (2.11)$$

Keterangan :

x = masukan

W = penimbang



Gambar 2.8 Bentuk Tiruan Neuron[12]

Struktur Gambar 2.10 merupakan sebuah model tiruan neuron sederhana yang banyak dikemukakan oleh Widrow (1960), dinamakan elemen pemroses *Adaptive Linear Neuron*. Neuron tunggal tersebut dinyatakan sebagai neuron/unit logika ambang dengan keluaran bipolar (-1 dan +1). Masukan unit tersebut juga bipolar, tanpa ada batasan apakah bernilai biner atau real. Model jaringan yang terbentuk disebut *Multiple Adaptive Linear Neuron*[14].

2.9.1 Backpropagation

Algoritma pelatihan backpropagasi atau biasa disebut dengan propagasi balik yang dirumuskan oleh Werbos. Algoritma ini merupakan metode pelatihan terbimbing (*supervised*) yang dirancang untuk operasi pada jaringan saraf tiruan *feed forward multi layer* untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron – neuron pada lapisan tersembunyinya. Algoritma ini mengubah error output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur. Tahapan perambatan maju harus dikerjakan terlebih dahulu untuk mendapatkan error. Pada saat perambatan maju neuron diaktifkan dengan fungsi aktifasi yang dinyatakan dalam persamaan dibawah ini [14]:

Sigmoid

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.12)$$

Dengan:

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)] \quad (2.13)$$

Atau Tan Sigmoid :

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.14)$$

Atau

$$y = f(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}} \quad (2.15)$$

Dengan:

$$f'(x) = [1 + f(x)][1 - f(x)] \quad (2.16)$$

Atau Pure linear

$$y = f(x) = x \quad (2.17)$$

Dengan:

$$f'(x) = 1 \quad (2.18)$$

2.9.2 Membangun jaringan

Kombinasi antara dua atau lebih neuron dalam lapisan untuk membentuk jaringan dan arsitektur jaringan dapat berisi satu atau lebih lapisan. Berdasarkan konektivitas neuron dalam jaringan, pengkombinisan ini dibagi menjadi dua tipe:

- *Feedforward network*
- *Recurrent Network or Feedback Network*

Arsitektur yang digunakan pada penelitian ini adalah jaringan *feedforward* dengan instruksi *newff*. Yang terdiri dari lebih dari 2 lapisan. 1 lapisan input, 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Setiap lapisan memiliki matriks bobot w , vektor bias b dan vektor *output* y [14].

Ada beberapa tahapan dalam membangun sebuah jaringan :

- Menetapkan data pelatihan, validasi dan data pengujian.
- Menentukan jumlah lapisan.
- Menentukan jumlah neuron pada lapisan tersembunyi
- menentukan algoritma pelatihan

2.9.3 Pelatihan Jaringan

Learning (pembelajaran) dalam jaringan *neural network* adalah prosedur untuk memodifikasi bobot dan bias dari jaringan, juga disebut sebagai algoritma pelatihan memaksa jaringan untuk menghasilkan respon tertentu terhadap input yang spesifik. Banyak aturan *learning* yang digunakan. Dua jenis aturan *learning* yaitu[14]:

- *Supervised Learning*
- *Unsupervised Learning*

Pada Penelitian ini menggunakan *supervised learning* sebagai metode pembelajaran. *Supervised learning* merupakan metode pembelajaran yang diawasi disediakan dengan *set data input/output* (disebut juga data *training*) dari perilaku jaringan yang tepat. Sebagai *input* yang diterapkan ke jaringan, *output* jaringan dibandingkan dengan output sasaran. Aturan pembelajaran kemudian digunakan untuk menyesuaikan bobot dan bias jaringan untuk memindahkan *output* jaringan lebih dekat ke sasaran[14].

Metode pembelajaran mencoba untuk meminimalkan kesalahan saat ini dari semua elemen pengolahan. pengurangan kesalahan global dibuat dari waktu ke waktu dengan terus memodifikasi bobot sampai tujuan kesalahan yang dapat diterima tercapai. Pelatihan terdiri dari penyajian input dan output data ke jaringan. Data ini sering disebut sebagai pelatihan ditetapkan. Artinya, untuk setiap set masukan yang diberikan kepada sistem, sesuai yang diinginkan keluaran set disediakan juga:

$$[{}^1(x_1, x_2), {}^1(t_1)], [{}^2(x_1, x_2), {}^2(t_1)].....[{}^N(x_1, x_2), {}^N(t_1)] \quad (2.19)$$

Ada beberapa fungsi pelatihan untuk *backpropagation* seperti [18]:

- a. *Gradient Descent*
- b. *Resilient Backpropagation*
- c. *Conjugate Gradient*
- d. *Quasi Newton*
- e. *Levenberg marquart*

- f. Pada penelitian ini, jenis pelatihan yang digunakan adalah *Levenberg marquart*. Penjelasan tentang *Levenberg marquart* akan dibahas pada subbab 2.11.4.

2.9.4 Algoritma *Levenberg-Marquardt*

Metode *Levenberg-Marquardt* merupakan metode hasil kombinasi dari algoritma newton dengan metode *steepest descent (gradient descent)*. Bila metode *gradient descent* dinyatakan dalam persamaan berikut 2.20[14].

$$W_{kj}(t + 1) = W_{kj}(t) + \alpha * \delta_k * Z_j \quad (2.20)$$

g dapat disederhanakan menjadi persamaan 2.21.

$$W_{k+1} = W_k - \alpha * g \quad (2.21)$$

g merupakan vektor gradient. Bentuk persamaan newtonnya dapat dilihat pada persamaan 2.22.

$$W_{k+1} = W_k - A^{-1}_k * g \quad (2.22)$$

A_k adalah matrik Hessian. Matriks A dapat dituliskan menjadi $A = 2J^T J$, J adalah matrik Jacobian. Persamaan perbaikan penimbang metode *Levenberg-Marquardt* dinyatakan dalam persamaan 2.23.

$$W_{k+1} = (W_k - J_k^T J_k + \mu I)^{-1} J_k^T e \quad (2.23)$$

e = merupakan vektor galatnkumulatif pada keluaran untuk semua pola

I = matriks identitas

J = matriks jacobian (MxP) galat keluaran terhadap N penimbang JST

μ = laju pelatihan

Bila nilai $\mu = 0$, maka metode LM akan sama dengan metode Gauss-Newton, sedangkan bila nilai μ besar amka metode LM akan sama dengan metode *backpropagation (steepest descent)*. Modifikasi metode ini dilakukan oleh Wilamowski-Chen dengan mereduksi matrik jacobian.

Dasar teori merupakan semua teori yang terdiri dari uraian kualitatif, model atau persamaan matematis dan definisi, untuk merumuskan suatu konsep yang sistematis dan yang dipilih berdasarkan kajian pustaka dalam

melatarbelakangi permasalahan penelitian. Dasar teori juga akan digunakan acuan untuk mengerjakan penelitian lebih lanjut. Pembahasan teori yang digunakan hanya yang terkait dan menunjang penelitian tesis saja.

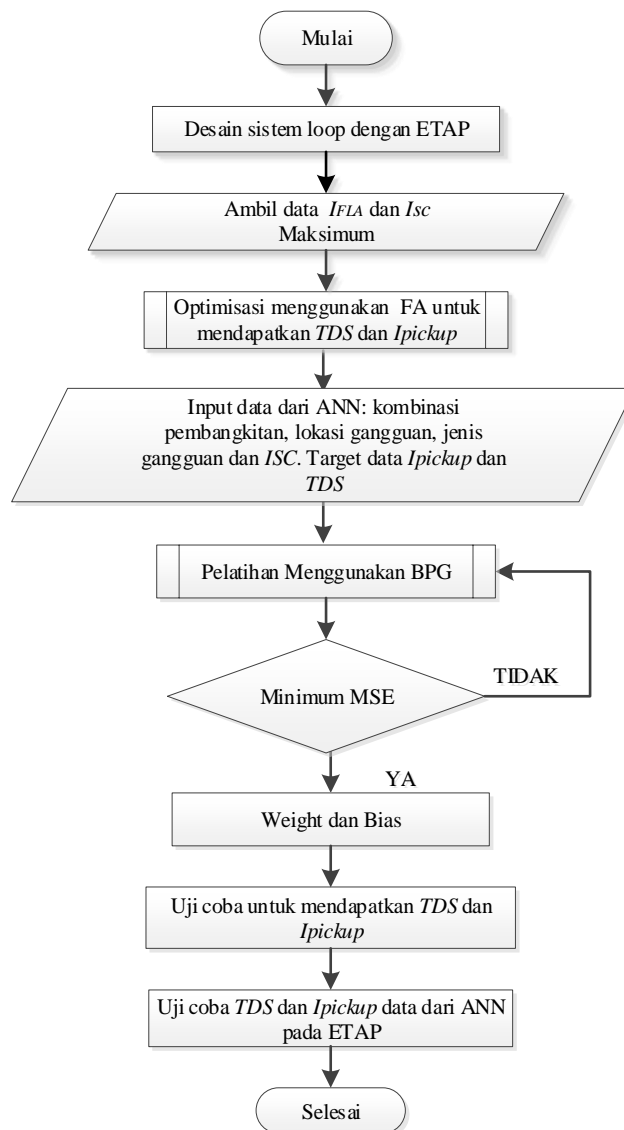
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Mekanisme Penelitian

Dalam melakukan penelitian tidak terlepas dari perencanaan dan tahapan penelitian yang sudah ditentukan sebelumnya. Mekanisme Penelitian dari penelitian ini digambarkan dalam sebuah diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Mekanisme Penelitian

Berikut tahapan dari mekanisme penelitian diatas :

1. Mendesain single line diagram pada software ETAP
2. Pengambilan data I_{FLA} yang didapatkan dari data *sheet* kabel. Melakukan simulasi *load flow* dan hubung singkat pada ETAP. Simulasi dilakukan pada setiap kombinasi pembangkitan dan pada setiap bus.
3. Melakukan proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* untuk mendapatkan data TDS dan *Ipickup* dengan waktu operasi yang paling minimum. Proses optimisasi dilakukan beberapa kali pengujian pada setiap kombinasi pembangkitan.
4. Pengambilan input data untuk proses pelatihan *Artificial neural network* BPG pada semua kombinasi pembangkitan dan lokasi gangguan. TDS dan *Ipickup* hasil optimisasi dari algoritma *firefly* digunakan sebagai data target pelatihan.
5. Pelatihan menggunakan BPG yang dilakukan beberapa kali pengujian dengan merubah jumlah neuron yang akan diambil nilai MSE yang paling kecil dan data yang paling sesuai dengan target.
6. Didapatkan nilai Weight dan bias dari hasil pelatihan.
7. Proses pengujian untuk mendapatkan nilai TDS dan *Ipickup*.
8. Membandingkan nilai TDS dan *Ipickup* dari hasil pengujian dengan TDS dan *Ipickup* dari target data.
9. Hasil TDS dan *Ipickup* dari pengujian dimasukkan pada setiap DOCR pada semua pembangkitan. Melakukan simulasi dengan ETAP untuk memastikan koordinasi masih berjalan dengan benar.

3.2 Data Sistem Loop

Sistem distribusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *loop* IEEE 9 bus yang dimodifikasi dengan penambahan DG. Dimana terdapat beberapa generator yang tersebar pada sistem ini. Pembangkit berupa generator yang di atur *swing*. Generator 1 atau DG1 terhubung dengan bus 2, generator 2

atau DG2 terhubung dengan bus 3. Data Generator utama dan generator tambahan ditampilkan dalam Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3.1 Data Generator

No	Jenis	Rating Daya(MW)	Rating Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	Generator	25	13,5	85

Tabel 3.2 Data Pembangkit Tersebar

No	Jenis	Rating Daya(MW)	Rating Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	DG1	3,5	13,5	85
2	DG2	3	13,8	85

Selain data pembangkit, sistem ini memiliki beban-beban yang terdiri dari *Lumped Load*. Jenis beban ini merupakan gabungan dari beban motor dan beban *static*. Data beban *Lumped Load* yang terpasang pada simulasi ini dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Beban pada Sistem

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	Load 1	5	6	20	85
2	Load 2	6	5	20	85
3	Load 3	8	7	20	85

Tabel 3.4 Data Saluran pada Sistem

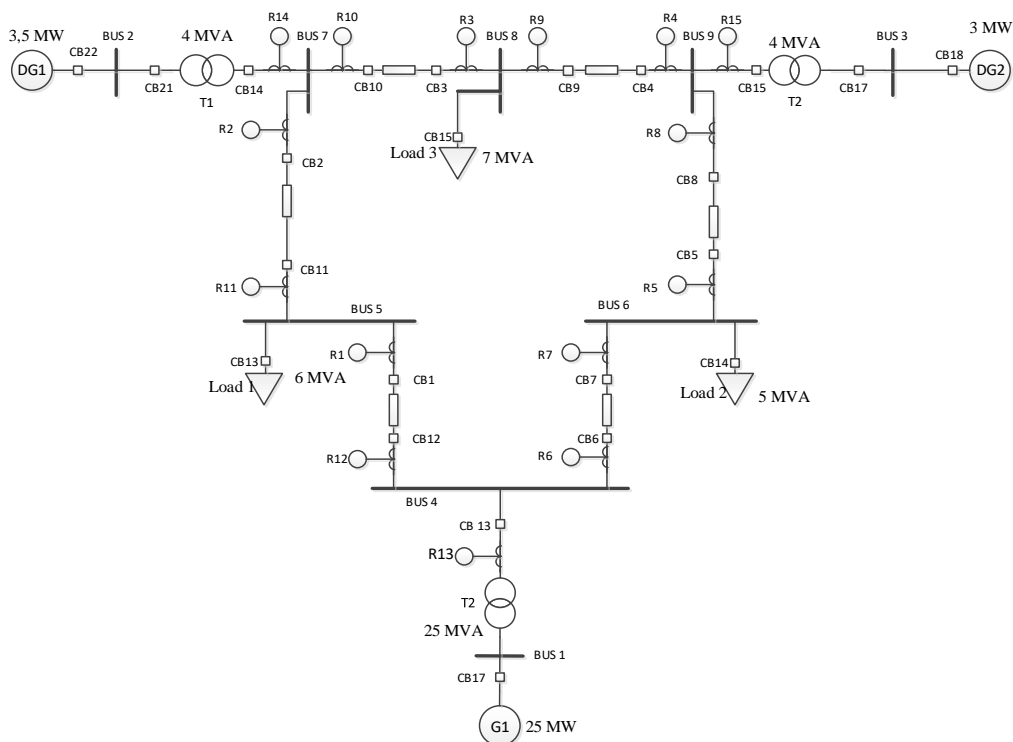
Line	Bus	R/kmOhm	X/KmOhm	Jarak(m)
1	4-5	0,34	0,141	1100
2	4-6	0,34	0,141	1100
3	5-7	0,34	0,141	1000
4	6-9	0,34	0,141	1100
5	8-9	0,34	0,141	1100
6	7-8	0,34	0,141	1100

Tabel 3.1 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

No	Rele Utama	Rele Backup	No	Rele Utama	Rele Backup
1	R1	R6	10	R7	R12
2	R1	R13	11	R7	R13
3	R2	R1	12	R8	R7
4	R3	R2	13	R9	R8
5	R4	R3	14	R10	R9
6	R5	R4	15	R11	R10
7	R6	R5	18	R12	R11

3.3 Single Line Diagram

Sistem kelistrikan yang digunakan pada penelitian ini adalah IEEE 9 bus yang dimodifikasi dengan penambahan dua pembangkit tersebar. Gambar 3.2 merupakan *single line diagram* dari sistem kelistrikan IEEE yang dimodifikasi.



Gambar 3.2 Single line diagram IEEE 9 bus yang dimodifikasi

3.4 Perancangan Topologi Jaringan dengan Perubahan Kondisi

Pembangkitan

Pada sistem tenaga listrik jaringan distribusi dengan penambahan pembangkit tersebar, kondisi pembangkit tersebar yang *On/Off* mengakibatkan perubahan konfigurasi pada sistem. Hal tersebut juga mempengaruhi sistem koordinasi proteksi pada jaringan tersebut. Sehingga diperlukan suatu proteksi adaptif yang mampu mengatasi perubahan sistem koordinasi yang disesuaikan dengan perubahan sistem yang terjadi saat itu juga.

Sistem kelistrikan pada penelitian ini memiliki beberapa skema perubahan kondisi topologi jaringan diantaranya adalah sebagai berikut :

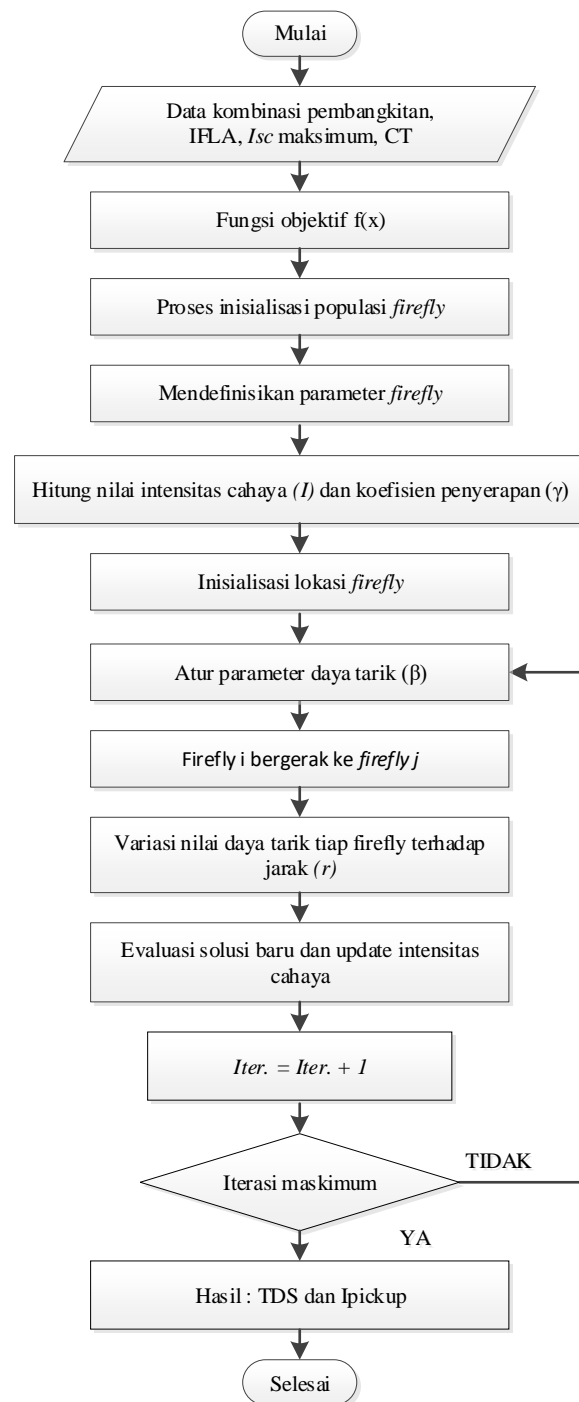
1. Skema 1 : Kondisi generator utama terhubung dengan, DG1, dan DG2.
2. Skema 2 : Kondisi generator utama terhubung dengan DG1.
3. Skema 3 : Kondisi generator utama terhubung dengan DG2.
4. Skema 4 : Kondisi terhubung dengan generator saja.

Tabel 3.2 Kombinasi Pengambilan Data

Kasus	Kombinasi			Lokasi Gangguan
	Pembangkitan			
	G	DG1	DG2	
1	1	1	1	4
2	1	1	1	5
3	1	1	1	6
4	1	0	1	7
5	1	0	1	8
...
...
...
71	1	0	0	8
72	1	0	0	9

3.5 Optimisasi Koordinasi Proteksi Menggunakan Algoritma *Firefly*

Proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* untuk mendapatkan nilai TDS dan Pickup digambarkan dalam diagram alir pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Algoritma *Firefly*

Tahapan-tahapan yang terdapat pada diagram alir diatas diuraikan sebagai berikut:

1. Langkah pertama

Pada tahap ini diambil data I_{FLA} , arus hubung singkat maksimum pada setiap kombinasi pembangkitan, data CT rasio, dan pasangan rele utama dan rele *backup* yang didapatkan dari ETAP.

2. Langkah kedua

Tujuan pada fungsi (f) adalah untuk meminimalkan total waktu operasi dari semua relay proteksi arus lebih dalam sistem sehubungan dengan batasan waktu koordinasi antara rele utama dan rele *backup*.

Fungsi objektif yang digunakan adalah :

$$\text{Min } (J) = \sum_{i=1}^n w_i t_i \quad (3.3)$$

Dimana n adalah jumlah rele, t_i adalah waktu operasi rele utama pada saat gangguan, dan w_i merupakan koefisien probabilitas gangguan yang terjadi pada setiap zona proteksi. Dalam penelitian ini nilai w_i yang diberikan adalah 1.

3. Langkah ketiga

Pada tahap ini adalah proses inisiasi parameter posisi TDS, arus *pickup*, nilai awal posisi terbaik TDS dilakukan pada tahap ini. Inisiasi nilai-nilai posisi TDS dilakukan dengan cara melakukan pengambilan nilai acak pada sejumlah populasi sesuai dengan batasan yang ditentukan. Nilai arus *pickup* ditentukan dengan mengambil sebuah nilai dari batas yang telah ditentukan. Dalam Penelitian ini diambil batas dalam kondisi *lowset*. *Constraint* untuk menginisiasi nilai posisi TDS dan arus *pickup* dinyatakan dalam persamaan 3.1 dan 3.2.

$$TDS_{i \min} \leq TDS \leq TDS_{i \max} \quad (3.1)$$

$$1,05 \times I_{FLA} \leq I_p \leq 1,4 \times I_{FLA} \quad (3.2)$$

4. Langkah keempat

Pada tahap ini menghitung intensitas cahaya (i) dan koefisien penyerapan (γ) seperti kabut dll. Untuk mengetahui intensitas cahaya masing-masing kunang-kunang dilakukan perbandingan nilai objektif TDS terhadap waktu operasi (top) yang telah ditentukan. Semakin besar selisih antara (top) dengan nilai objektif TDS, maka semakin redup intensitas cahaya kunang-kunang tersebut. Sebaliknya, semakin kecil selisih antara (top) dengan nilai

objektif TDS, maka semakin terang intensitas cahaya kunang-kunang tersebut.

5. Langkah kelima

Pada tahap ini adalah mengatur koefisien ketertarikan (β). Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma \cdot r^n} \quad n \geq 1 \quad (3.3)$$

6. Langkah keenam

Pada tahap ini adalah tahap dimana *firefly* yang memiliki tingkat cahaya yang lebih redup (i) bergerak ke *firefly* yang memiliki tingkat cahaya yang lebih terang (j).

7. Langkah ketujuh

Pada tahap ini adalah variasi dari pergerakan daya tarik *firefly* terhadap jarak (r). Proses *update* beberapa parameter *firefly* terjadi pada tahap ini. Parameter yang diperbaharui antara lain adalah posisi (x), faktor ketertarikan, koefisien penyerapan intensitas cahaya, dan koefisien nilai random. Formula yang digunakan untuk memperbaharui nilai dari parameter-parameter tersebut adalah :

$$x_i = x_i + \beta(r) * (x_i - x_j) + \alpha(rand - \frac{1}{2}) \quad (3.4)$$

Koefisien α , β , dan γ bernilai 0 sampai 1. Nilai ini yang semakin besar akan mempercepat kunang-kunang dalam mendekati kunang-kunang lain yang lebih terang namun dengan hasil yang tidak akurat. Sementara itu koefisien γ dapat dimisalkan sebagai kondisi cuaca saat pergerakan kunang-kunang. Semakin besar nilai γ berarti kondisi cuaca saat itu sedang berkabut yang mengakibatkan kunang-kunang tidak dapat melihat kunang-kunang yang lebih terang pada posisi yang lebih jauh. Koefisien α berfungsi sebagai faktor pengali dari nilai vektor kunang-kunang. Semakin besar nilai α berarti gerakan kunang-kunang akan semakin acak dan semakin kecil nilai α berarti gerakan kunang-kunang cenderung diam.

8. Langkah kedelapan

Pada tahap ini parameter – parameter *firefly* yang berhubungan dengan *fitness function* akan dievaluasi berdasarkan *constraint* yang telah ditetapkan. Adapun *constraint* yang harus dipenuhi , di antaranya adalah :

- a. Selisih waktu antara rele utama dan rele *backup* atau *coordination time interval* (CTI) pada saat gangguan adalah lebih besar atau sama dengan 0,2 – 0,4 detik

$$t_{backup} - t_{utama} \geq CTI$$

- b. Waktu maksimal operasi rele utama sebesar 1 detik

9. Langkah kesembilan

Apabila parameter-parameter yang telah didapat dari proses *update* dan proses *constraint* parameter posisi *Pbest* TDS dan *Pnotbest* TDS.

$$Pbest \text{ TDS} = xTDS$$

$$Pnotbest \text{ TDS} = Pnotbest \text{ TDS}_{awal}$$

10. Langkah kesebelas

Setelah batasan *fitness function* dan parameter-parameter koordinasi proteksi terpenuhi, proses iterasi akan berhenti pada posisi maksimal iterasi yang ditentukan. Kemudian akan diperoleh nilai parameter-parameter TDS yang optimal.

3.6 Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif Menggunakan ANN

Backpropagation Lavenberg-Marquardt (BPLM)

Optimalisasi menggunakan *firefly* yang menghasilkan nilai TDS dan *Ipickup* yang paling optimal pada setiap kombinasi pembangkitan. Karena dalam penelitian ini menggunakan kurva inverse maka target yang digunakan berupa output setting rele kurva inverse yaitu TDS dan *Ipickup*. Langkah selanjutnya melakukan perancangan koordinasi yang adaptif menggunakan metode BPLM. Dalam melakukan proses ini diperlukan penentuan data input untuk pelatihan ANN yang berupa arus hubung singkat yang didapatkan dari kombinasi pembangkitan, jenis gangguan dan lokasi gangguan. Diperlukan juga pengambilan data target berupa nilai *Time Dial Setting* (TDS) dan *Ipickup* yang didapatkan dari hasil optimalisasi menggunakan algoritma *firefly*.

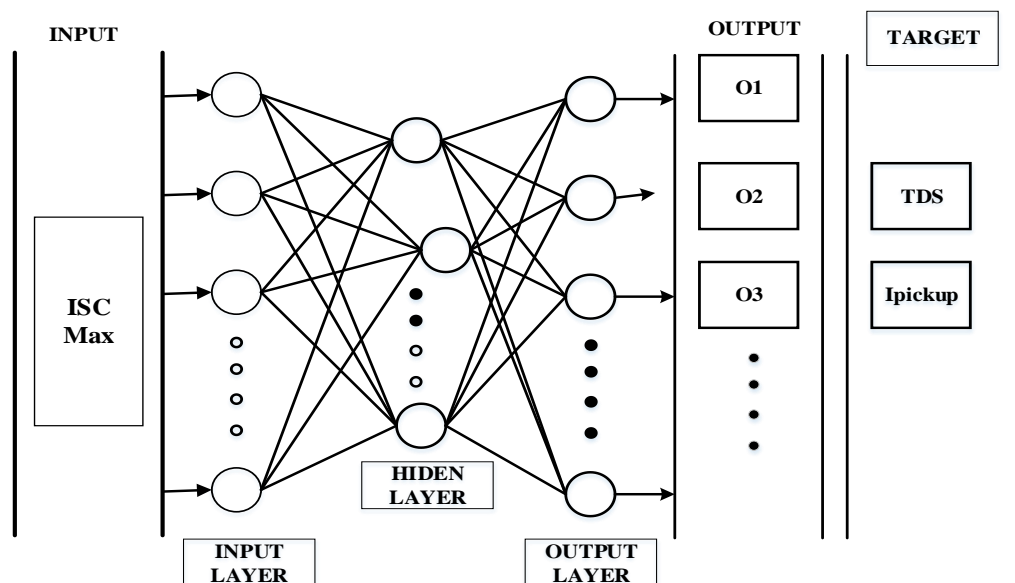
Proses pelatihan ANN terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran. Data pelatihan terdiri dari 15 data input dan 26 target yang terdiri dari TDS dan *Ipickup* dari 13 rele. Data pelatihan terdiri dari 24 data, 80% sebagai data pelatihan, 20% sebagai data pengujian. Pada penelitian ini digunakan jaringan multi layer dengan fungsi aktivasi menggunakan fungsi Tan Sigmoid yang dinyatakan dalam persamaan dibawah ini[14].

- Tan Sigmoid

$$y = f(net) = \frac{1-e^{-2net}}{1+e^{-2net}} \quad (3.6)$$

- Pure linear (lapisan keluaran)

$$y = f(net) = net \quad (3.7)$$



Gambar 3.4 Arsitektur ANN untuk Penelitian

1. Prosedur pelatihan

- Melakukan pengujian dengan mengganti jumlah neuron antara 1-15 neuron.
- Setiap neuron dilakukan pelatihan sebanyak lima kali pelatihan.
- Dari setiap pengujian satu neuron diambil nilai MSE yang paling kecil dan dibandingkan dengan nilai MSE dari semua neuron pengujian.
- Dari MSE yang paling kecil diambil untuk data pengujian.

2. Prosedur pengujian
 - a. Program ujicoba dengan nilai MSE terkecil dipanggil
 - b. Hasil pengujian berupa TDS dan *Ipickup*
 - c. Bandingkan nilai keluaran ujicoba dengan target pelatihan
 - d. Melakukan pengujian data keluaran ANN pada ETAP untuk selanjutnya dianalisis koordinasinya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Manual

Perhitungan manual koordinasi proteksi pada sistem distribusi loop digunakan sebagai hasil pembandingan perhitungan koordinasi proteksi pada sistem distribusi loop menggunakan algoritma *firefly*. Pada perhitungan ini dilakukan setting lowset untuk rele. Perhitungan ini dilakukan dalam beberapa iterasi sampai hasil nilai TDS setiap rele konvergen pada iterasi selanjutnya.

Perhitungan pada sistem loop dapat diatur dalam dua tahapan yaitu menghitung pada rele yang searah dengan jarum jam yaitu R1-R6 dan rele yang berlawanan dengan arah jarum jam yaitu R7-R12. Pada rele yang searah dengan jarum jam dapat dimulai dari R6 akan diatur untuk berkoordinasi dengan R5, karena R5 merupakan backup R6. Sekarang R5 harus berkoordinasi dengan R4, R4 dengan R3, R3 dengan R2, R2 dengan R1, dan R1 dengan R6. Dengan demikian kita dapat melihat bahwa pengaturan R6 telah berubah dari yang awalnya berkoordinasi dengan R5. Setelah iterasi pertama, diperbarui pengaturan R6 ke pengaturan baru yang sesuai, untuk berkoordinasi dengan R1, sehingga menutup loop. Jika pengaturan R6 telah berubah secara signifikan, maka kita ulangi proses di atas dengan menyesuaikan pengaturan semua rele di loop lagi.

Contoh perhitungan dimulai dari rele yang searah dengan jarum jam. Dimulai dari R6 yang merupakan rele utama dan R5 merupakan rele *backup*. Untuk R6, diasumsikan TDS 0,03 (Jangkauan normal adalah 0,025 hingga 1,2).

➤ **Rele 6 (Utama)**

Kurva Type	: IEC <i>Very Inverse</i>
Isc	: 1520 A
FLA	: 354 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

$$I_{set} = 1,05 \times FLA = 372$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT} = 3,72$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih TDS = 0,03

$$\begin{aligned}
 \text{TOP R6} &= \frac{13,50 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{\text{Fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]} \\
 &= \frac{13,50 \times 0,03}{\left[\left(\frac{1520}{372} \right)^1 - 1 \right]} \\
 &= 0,2451\text{s}
 \end{aligned}$$

➤ **Rele 5 (Backup)**

Kurva Type : IEC *Very Inverse*
 Isc : 1060 A
 FLA : 227,8 A
 CT ratio : 500/5

• **Low Set Current Setting**

$$I_{\text{set}} = 1,05 \times \text{FLA} = 239$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}} = 2,39$$

• **Waktu Operasi**

$$\text{TOP R5} = \text{TOP R6} + \text{CTI} = 0,2451 + 0,2 = 0,4451\text{s}$$

TOP R5 selanjutnya digunakan untuk menghitung TDS R5

$$\begin{aligned}
 \text{TOP R5} &= \frac{13,50 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{\text{Fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]} \\
 0,4451 &= \frac{13,50 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{1060}{239} \right)^1 - 1 \right]} \\
 &= 0,122
 \end{aligned}$$

Setelah iterasi pertama, diperbarui pengaturan R6 ke pengaturan baru yang sesuai yaitu menjadi berkoordinasi dengan R1, sehingga menutup loop. Jika pengaturan R6 telah berubah secara signifikan, maka kita ulangi proses di atas dengan menyesuaikan pengaturan semua rele di loop lagi.

Hasil dari perhitungan manual dapat dilihat pada table 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan manual pada Skema 1 dan skema 2

Rele	TDS	Ipickup	TOP	Rele	TDS	TAP	TOP
1	0,85936	1,8186	0,67663	1	0,80573	1,8186	0,68256
2	0,64832	1,8207	0,58847	2	0,61692	1,8207	0,59281
3	0,47254	1,8186	0,49407	3	0,78483	1,0857	0,49339
4	0,19109	3,003	0,39938	4	0,1752	2,99565	0,37282
5	0,16153	2,3919	0,32381	5	0,07304	2,99565	0,25022
6	0,06533	3,717	0,28547	6	0,12034	1,8186	0,28189
7	0,38339	3,717	0,65032	7	0,29694	4,48245	0,64595
8	0,4819	2,3919	0,58924	8	0,36144	2,99565	0,57538
9	0,27134	3,003	0,5141	9	0,20736	2,99565	0,47099
10	0,37765	1,8186	0,4711	10	0,52972	1,0857	0,44078
11	0,28234	1,8207	0,41115	11	0,22375	1,8207	0,37465
12	0,22497	1,8186	0,39788	12	0,18504	1,8186	0,3699
13	0,17649	4,73813	0,7106	13	0,18178	4,73813	0,963

Tabel 4.2 Hasil perhitungan manual pada skema 3 dan skema 4

Rele	TDS	TAP	TOP	Rele	TDS	TAP	TOP
1	0,83637	1,8186	0,68035	1	0,80078	1,8186	0,70261
2	0,62452	1,82175	0,57572	2	0,59405	1,8228	0,58062
3	0,34874	1,82175	0,4426	3	0,31623	1,8228	0,42115
4	0,10143	3,92595	0,35427	4	0,08006	3,9249	0,28518
5	0,10142	2,9988	0,31581	5	0,02158	3,9249	0,13652
6	0,16877	1,8186	0,35777	6	0,07826	1,8186	0,22391
7	0,27201	4,48665	0,62853	7	0,21291	5,4411	0,64468
8	0,33475	2,9988	0,56464	8	0,24208	3,9249	0,56319
9	0,17596	3,92595	0,48136	9	0,13192	3,9249	0,4431
10	0,32612	1,82175	0,41604	10	0,25687	1,8228	0,38363
11	0,14712	1,82175	0,28765	11	0,10084	1,8228	0,23913
12	0,11723	1,8186	0,27725	12	0,08272	1,8186	0,23126
13	0,2386	4,73813	0,83526	13	0,16951	4,73813	0,898

4.2 Optimisasi Koordinasi Proteksi menggunakan *Firefly*

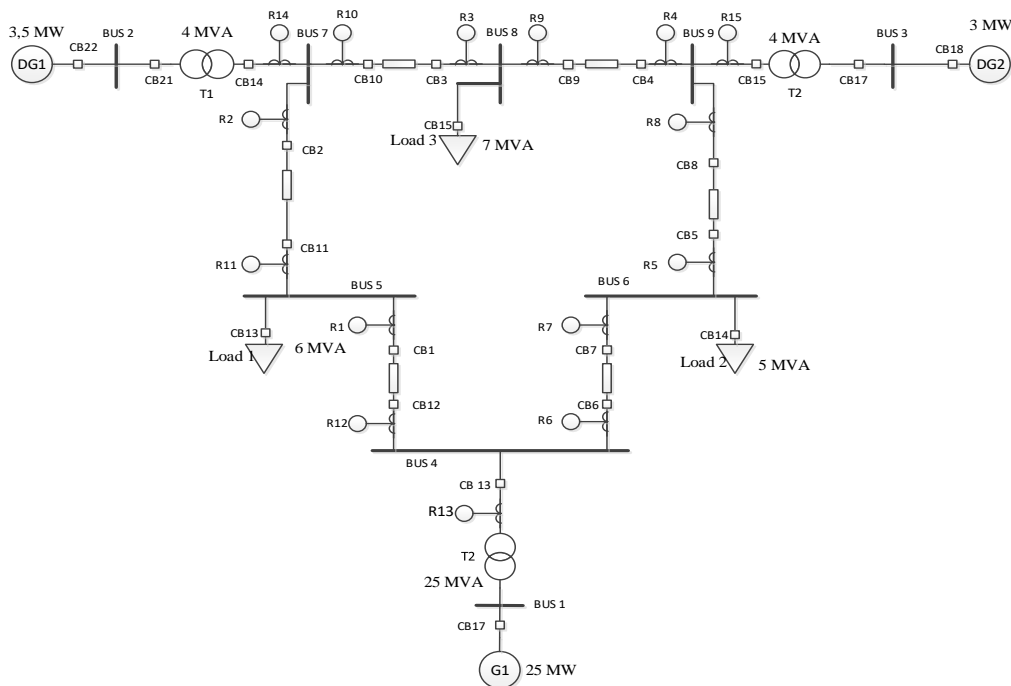
Proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* dilakukan pada 4 skema kombinasi pembangkitan untuk mendapatkan nilai TDS dan *Ipickup* dengan waktu operasi yang paling optimal. Skema pembangkitan dibagi menjadi 4 yaitu::

- Skema 1 : Kondisi terhubung generator utama,DG2 dan DG1,
- Skema 2 : Kondisi terhubung generator utama dan DG1,
- Skema 3 : Kondisi terhubung generator utama dan DG2,
- Skema 4 : Kondisi hanya terhubung generator utama.

Proses optimisasi dilakukan dalam beberapa kali pengujian sampai didapat nilai TDS dan Ipickup dengan waktu total operasi yang optimal.

4.2.1 Skema 1 (Generator Utama, DG2, dan DG1)

Gambar 4.1 menunjukan *single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 1.



Gambar 4.1 *Single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 1

Tabel 4.1 merupakan data arus gangguan pada rele utama dan rele *backup* yang digunakan untuk pada proses optimisasi dengan menggunakan algoritma *firefly*.

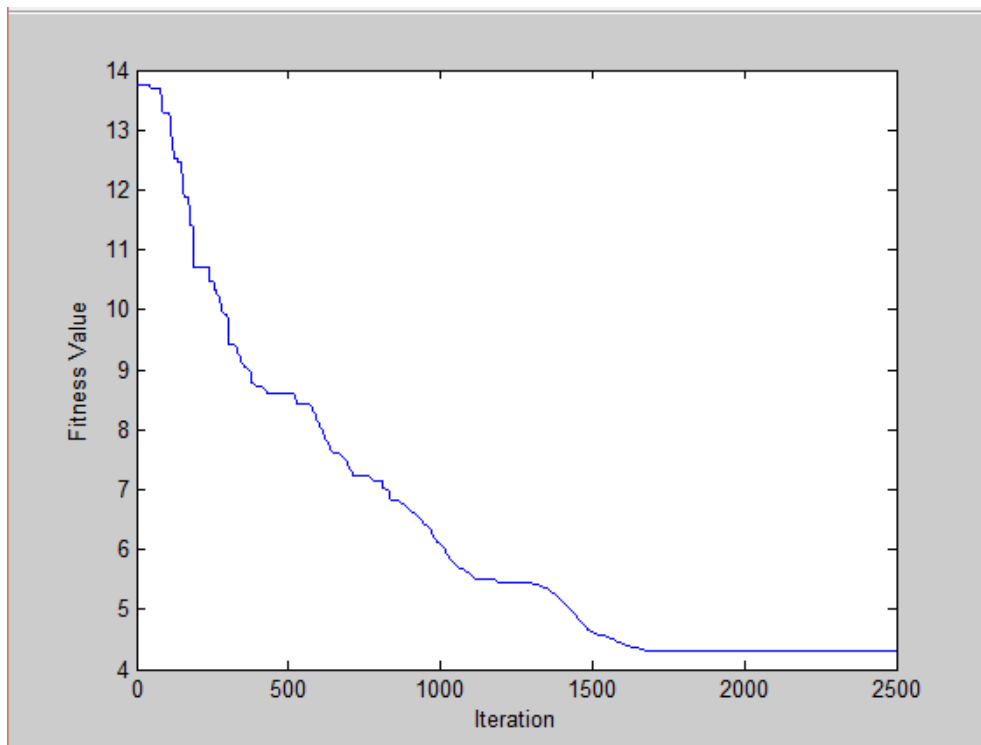
Tabel 4.2 Data arus hubung singkat pada Rele Utama dan Backup Skema 1

Rele Utama		Rele <i>Backup</i>	
1	3300	6	691
2	2890	1	2430
3	2530	2	2070
4	2240	3	1730
5	1850	4	1450
6	1520	5	1060
7	3330	12	734
8	2880	7	2420
9	2440	8	2040
10	2150	9	1640
11	1870	10	1400
12	1570	11	1110
1	3300	13	2620
7	3330	13	2610

Parameter pada proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* adalah sebagai berikut:

Jumlah Iterasi = 2500

Jumlah *Firefly* = 50



Gambar 4.2 Kurva Konvergensi Skema 1

Gambar 4.2 menunjukkan nilai fitness konvergen pada iterasi 1700 dan 2000 pada nilai 4,3077 yang merupakan waktu seluruh operasi pada skema 1.

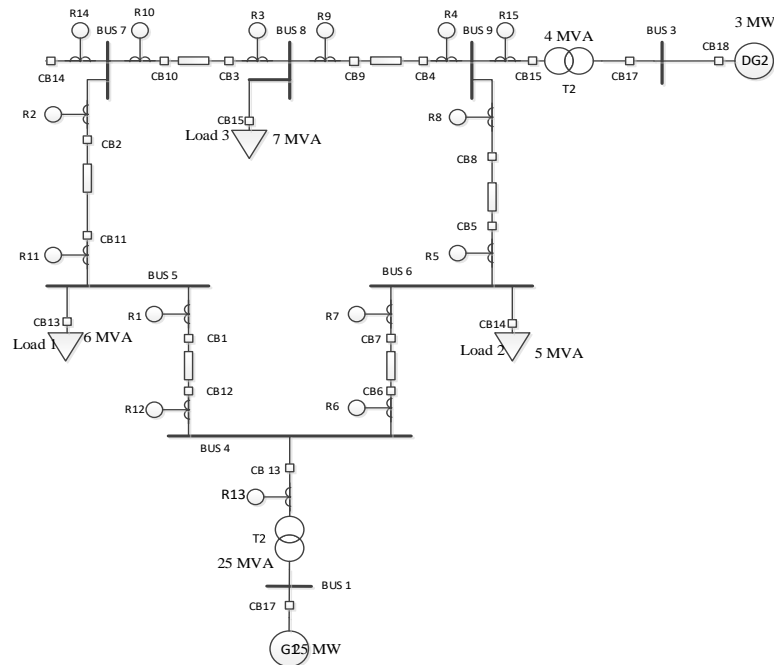
Tabel 4.3 TDS dan Ipickup Kondisi Pembangkitan Skema 1

Rele	Ipickup	TDS	TOP
1	1,8186	0,54436	0,42861
2	1,8207	0,42237	0,38338
3	1,8186	0,3166	0,33102
4	3,003	0,11772	0,24603
5	2,3919	0,10517	0,21083
6	3,717	0,04662	0,20371
7	3,717	0,23477	0,39822
8	2,3919	0,29626	0,36225
9	3,003	0,17149	0,32493
10	1,8186	0,2386	0,29764
11	1,8207	0,19011	0,27683
12	1,8186	0,14347	0,25375
13	4,73813	0,11148	0,59057

Tabel 4.2 merupakan data TDS dan *Ipickup* berdasarkan hasil dari optimisasi menggunakan algoritma *firefly*.

4.2.2 Skema 2 (Generator Utama dan DG1)

Gambar 4.3 menunjukan *single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 2.



Gambar 4.3 *Single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 2

Tabel 4.3 merupakan tabel data arus gangguan yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai *setting* rele.

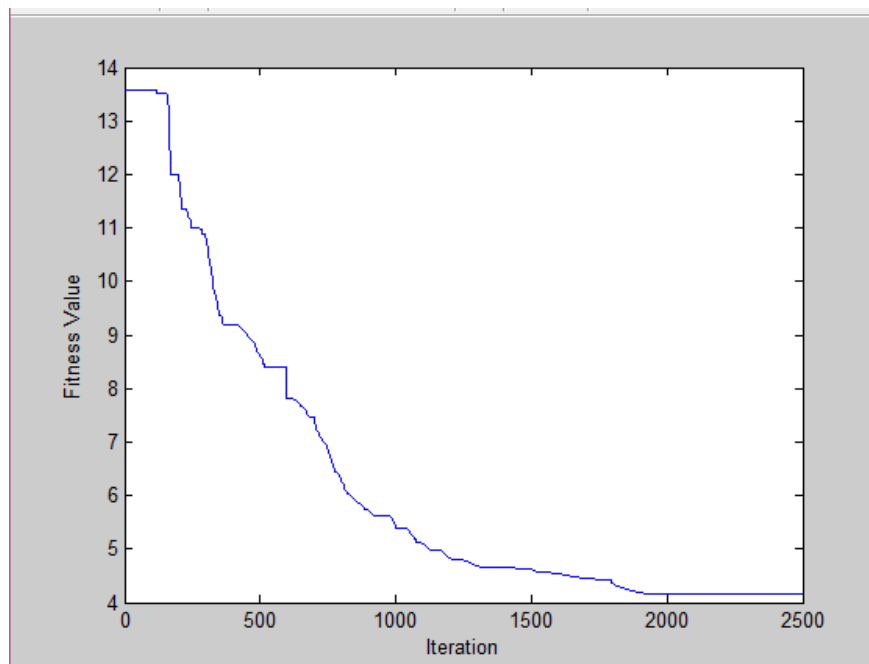
Tabel 4.4 Data arus hubung singkat pada Rele Utama dan Backup Pada Skema 2

Rele Utama		Rele <i>Backup</i>	
1	3080	6	468
2	2740	1	2280
3	2440	2	1980
4	2200	3	1700
5	1480	4	1480
6	1230	5	767
7	3230	12	638
8	2840	7	2390
9	2080	8	2080
10	1870	9	1360
11	1650	10	1180
12	1410	11	946
1	3080	13	2620
7	3230	13	2610

Parameter pada proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* adalah sebagai berikut:

Jumlah Iterasi = 2500

Jumlah *Firefly* = 50



Gambar 4.4 Kurva Konvergensi Skema 2

Gambar 4.4 menunjukkan nilai fitness konvergen pada iterasi 1800 dan 2000 pada nilai 4,2594 yang merupakan waktu seluruh operasi pada skema 2.

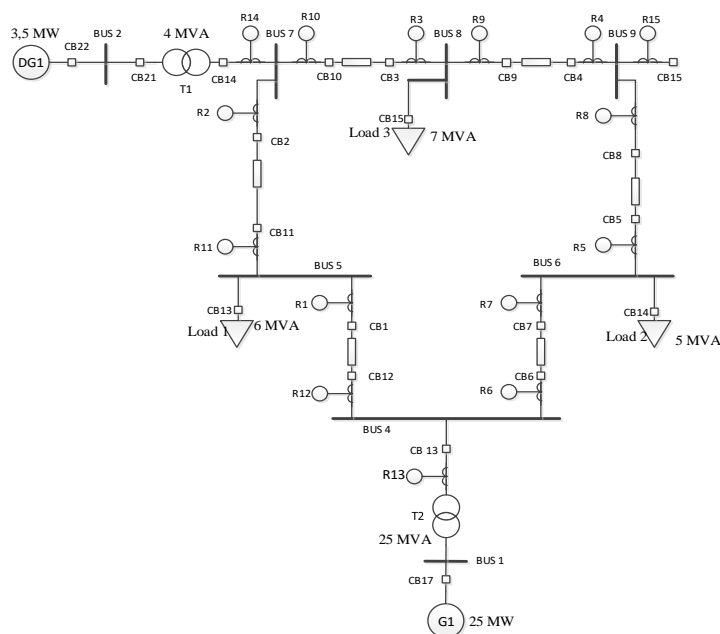
Tabel 4.5 TDS dan Ipickup Skema 2

Rele	Ipickup	TDS	TOP
1	1,8186	0,56174	0,35303
2	1,8207	0,43298	0,28587
3	1,0857	0,56313	0,29699
4	2,99565	0,145	0,08514
5	2,99565	0,07351	0,24907
6	1,8186	0,04957	0,26297
7	4,48245	0,21948	0,4238
8	2,99565	0,26416	0,37275
9	2,99565	0,15631	0,29669
10	1,0857	0,38139	0,28906
11	1,8207	0,15861	0,2572
12	1,8186	0,14814	0,26271
13	4,73813	0,13657	0,82413

Tabel 4.4 merupakan data TDS dan *Ipickup* berdasarkan hasil dari optimisasi menggunakan algoritma *firefly*.

4.2.3 Skema 3 (Generator Utama dan DG2)

Gambar 4.5 menunjukkan *single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 3.



Gambar 4.5 *Single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 3

Berikut merupakan tabel data arus gangguan yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai *setting* rele.

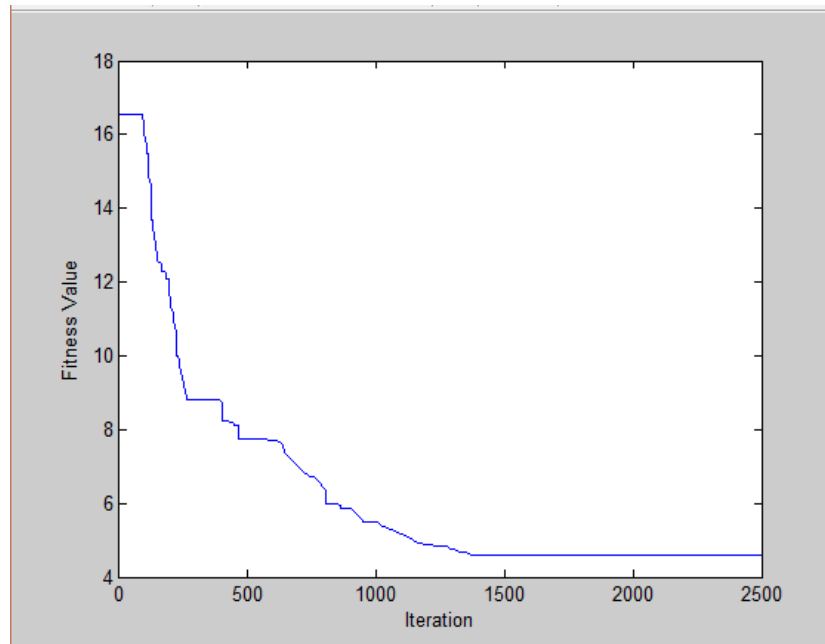
Tabel 4.6 Data arus hubung singkat Rele Utama dan Rele Backup Pada Skema 3

Rele Utama		Rele Backup	
1	3200	6	584
2	2850	1	2400
3	2120	2	2120
4	1910	3	1400
5	1600	4	1200
6	1340	5	880
7	3070	12	476
8	2700	7	2250
9	2330	8	1930
10	2110	9	1610
11	1440	10	1440
12	1220	11	759
1	3200	13	2620
7	3070	13	2620

Parameter pada proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* adalah sebagai berikut:

Jumlah Iterasi = 2500

Jumlah *Firefly* = 50



Gambar 4.6 Kurva *Konvergensi* Skema 3

Gambar 4.6 menunjukan nilai fitness konvergen pada iterasi 1400 dan 1500 pada nilai 4,27631 yang merupakan waktu seluruh operasi pada skema 3.

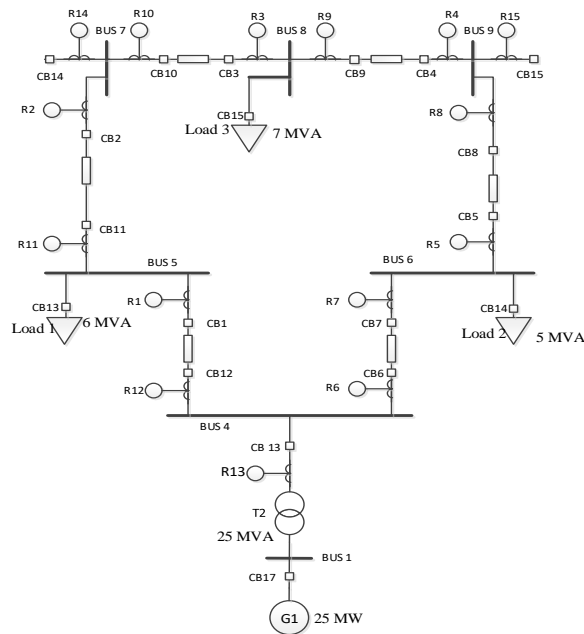
Tabel 4.7 TDS dan Ipickup Skema 3

Rele	Ipickup	TDS	TOP
1	1,8186	0,09451	0,44425
2	1,82175	0,39121	0,35735
3	1,82175	0,23825	0,29039
4	3,92595	0,06049	0,23242
5	2,9988	0,05039	0,20647
6	1,8186	0,03483	0,24954
7	4,48665	0,2295	0,36277
8	2,9988	0,2218	0,42882
9	3,92595	0,1231	0,3944
10	1,82175	0,22166	0,31282
11	1,82175	0,10916	0,20218
12	1,8186	0,06826	0,22937

Tabel 4.6 merupakan data TDS dan *Ipickup* berdasarkan hasil dari optimisasi menggunakan algoritma *firefly*.

4.2.4 Skema 4 (Generator Utama)

Gambar 4.7 menunjukan *single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 4.



Gambar 4.7 *Single line diagram* IEEE 9 bus pada skema 4

Berikut merupakan tabel data arus gangguan yang digunakan untuk proses optimalisasi untuk mendapatkan nilai *setting* rele.

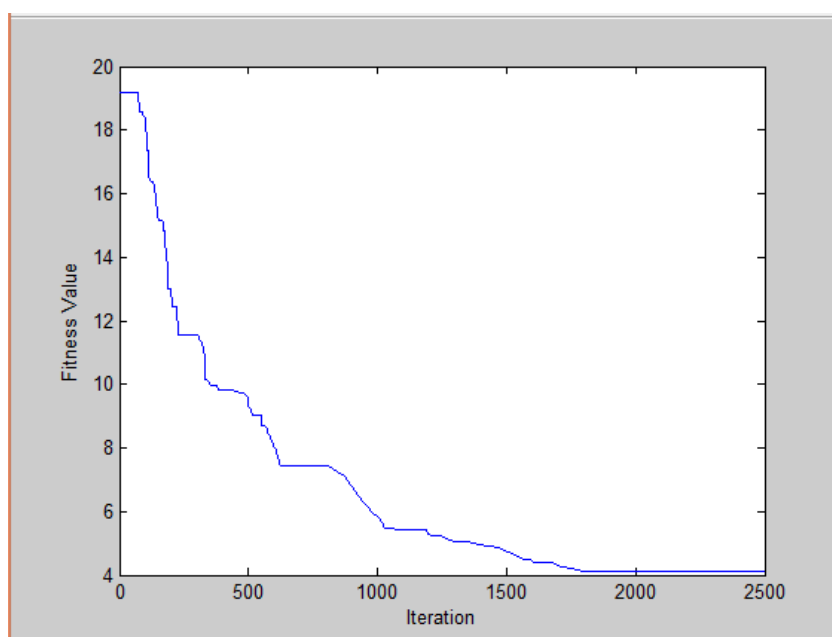
Tabel 4.8 Data Arus hubung singkat Rele Utama Dan Rele Backup Pada Skema 4

Rele Utama		Rele <i>Backup</i>	
1	2980	6	361
2	2700	1	2250
3	2030	2	2030
4	1880	3	1370
5	1230	4	1230
6	1040	5	585
7	2970	12	382
8	2670	7	2220
9	1970	8	1970
10	1830	9	1320
11	1220	10	1220
12	1060	11	595
1	2980	13	2620
7	2970	13	2620

Parameter pada proses optimisasi menggunakan algoritma *firefly* adalah sebagai berikut:

Jumlah Iterasi = 2500

Jumlah *Firefly* = 50



Gambar 4.8 Kurva Konvergensi Skema 4

Gambar 4.8 menunjukkan nilai fitness konvergen pada iterasi 1800 dan 2000 pada nilai 4,19232 yang merupakan waktu seluruh operasi pada skema 4.

Tabel 4.9 TDS dan Ipickup Kondisi Skema 4

Rele	Ipickup	TDS	TOP
1	1,8186	0,07236	0,43606
2	1,8228	0,41244	0,38188
3	1,8228	0,2411	0,30461
4	3,9249	0,07565	0,2541
5	3,9249	0,04054	0,23668
6	1,8186	0,05813	0,21554
7	5,4411	0,16673	0,47547
8	3,9249	0,15957	0,3512
9	3,9249	0,09412	0,29729
10	1,8228	0,17127	0,24253
11	1,8228	0,07454	0,22671
12	1,8186	0,06123	0,2162
13	4,73813	0,13177	0,55405

Tabel 4.8 merupakan data TDS dan *Ipickup* berdasarkan hasil dari optimisasi menggunakan algoritma *firefly*.

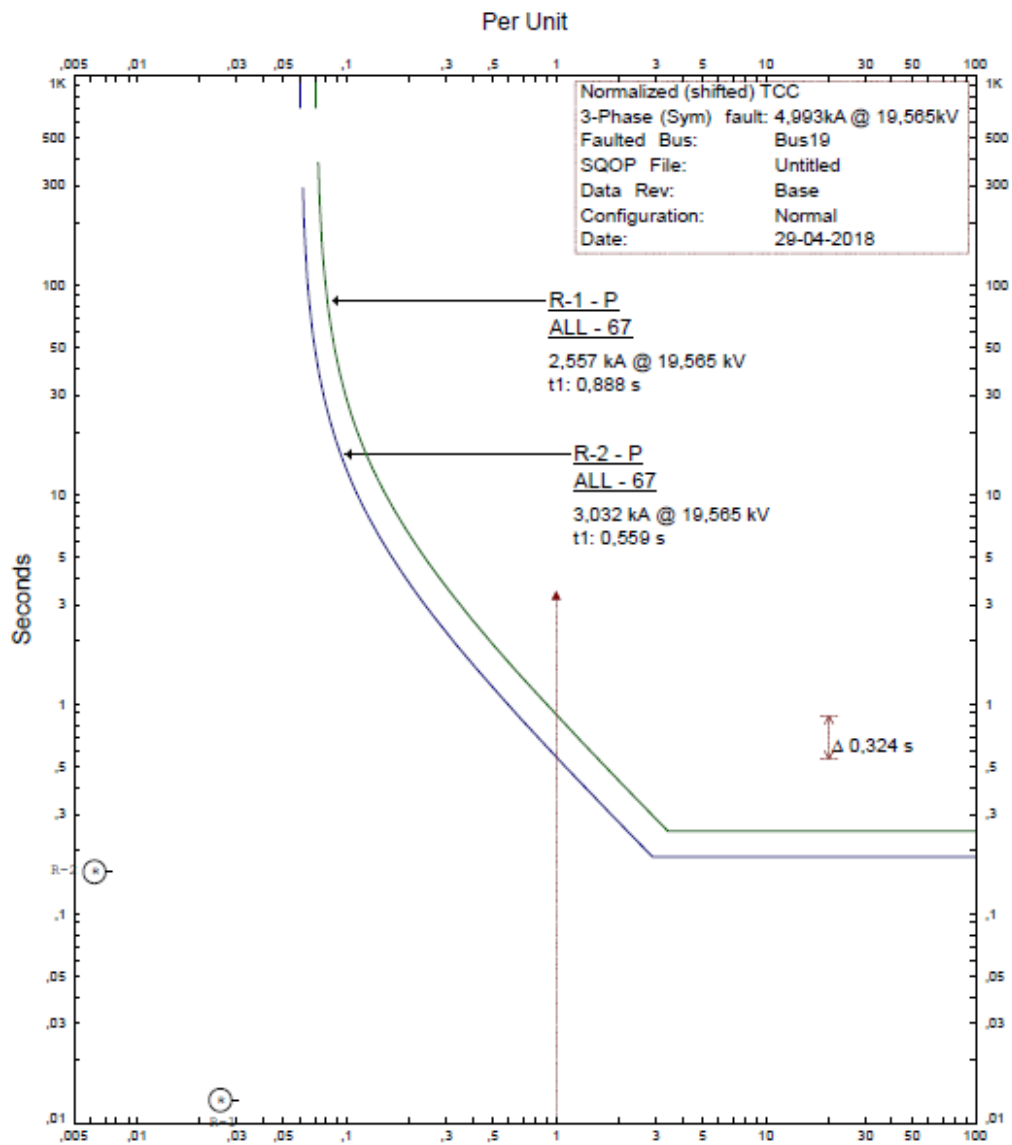
Optimisasi dilakukan dalam beberapa kali pengujian hingga didapatkan nilai yang paling optimal. Data TDS dan *Ipickup* rele hasil optimalisasi *firefly* akan dijadikan target dari pelatihan ANN-BCG.

4.3 Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma *firefly*

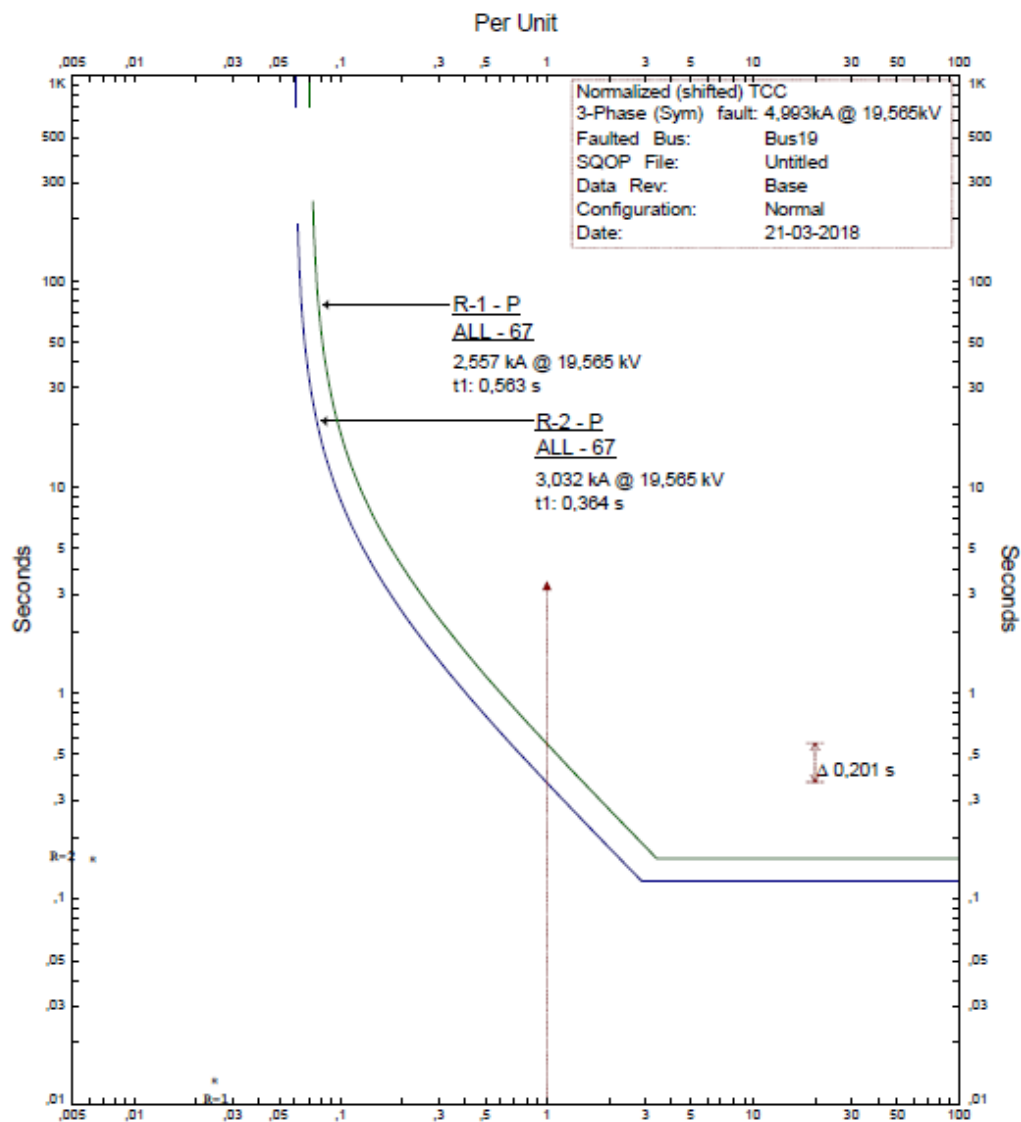
Setelah dilakukan perhitungan manual dan menggunakan algoritma *firefly*, hasil tersebut akan disimulasikan pada ETAP untuk mengetahui perbandingan nilai waktu operasi.

4.3.1 Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma *firefly* pada skema 1

Gambar 4.9 menunjukkan kurva TCC (Time Current Curve) dari hasil perhitungan manual dan gambar 4.10 menunjukkan kurva TCC hasil dari algoritma *firefly* pada skema 1.



Gambar 4.9 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 pada perhitungan manual

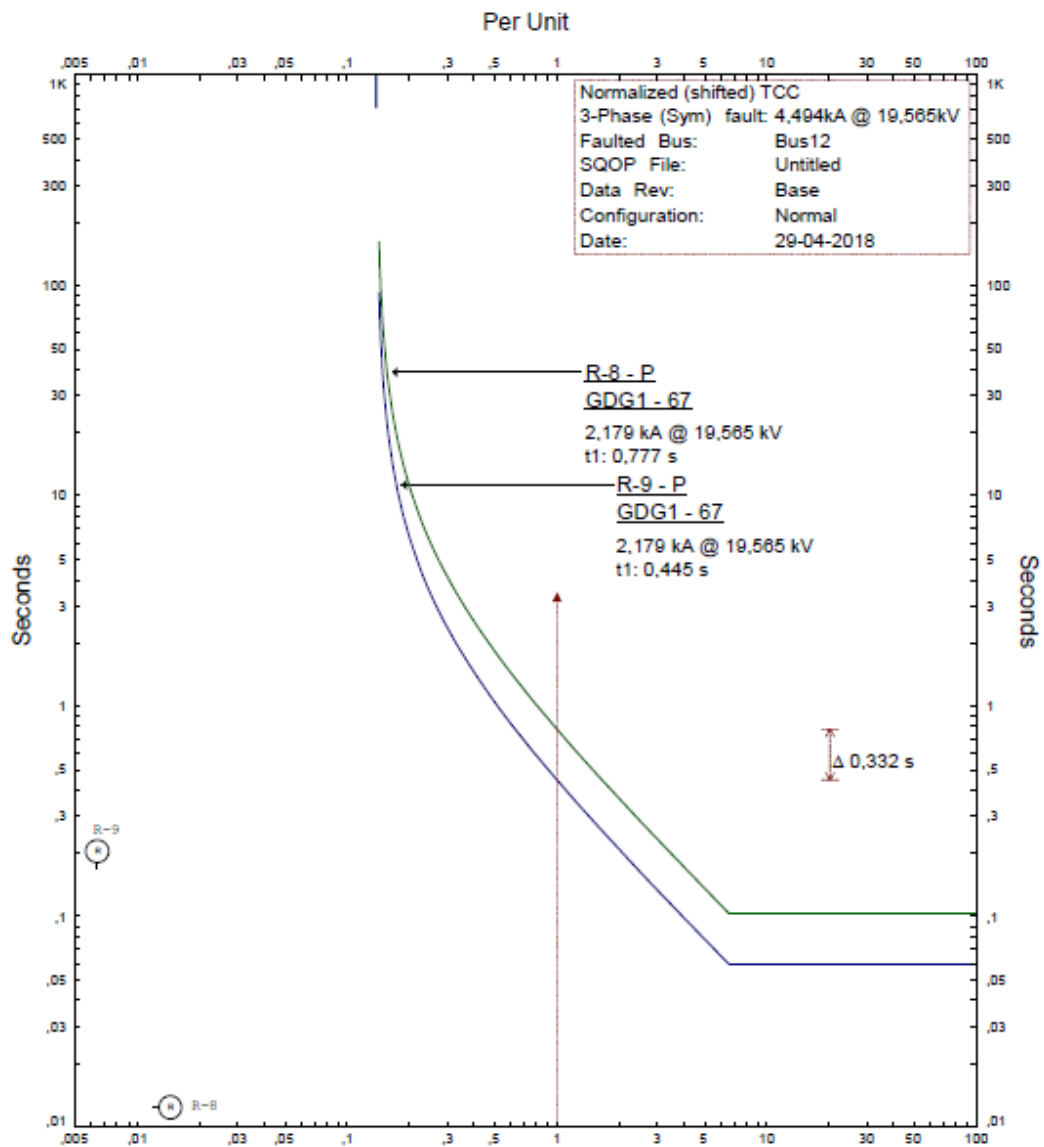


Gambar 4.10 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 menggunakan algoritma firefly

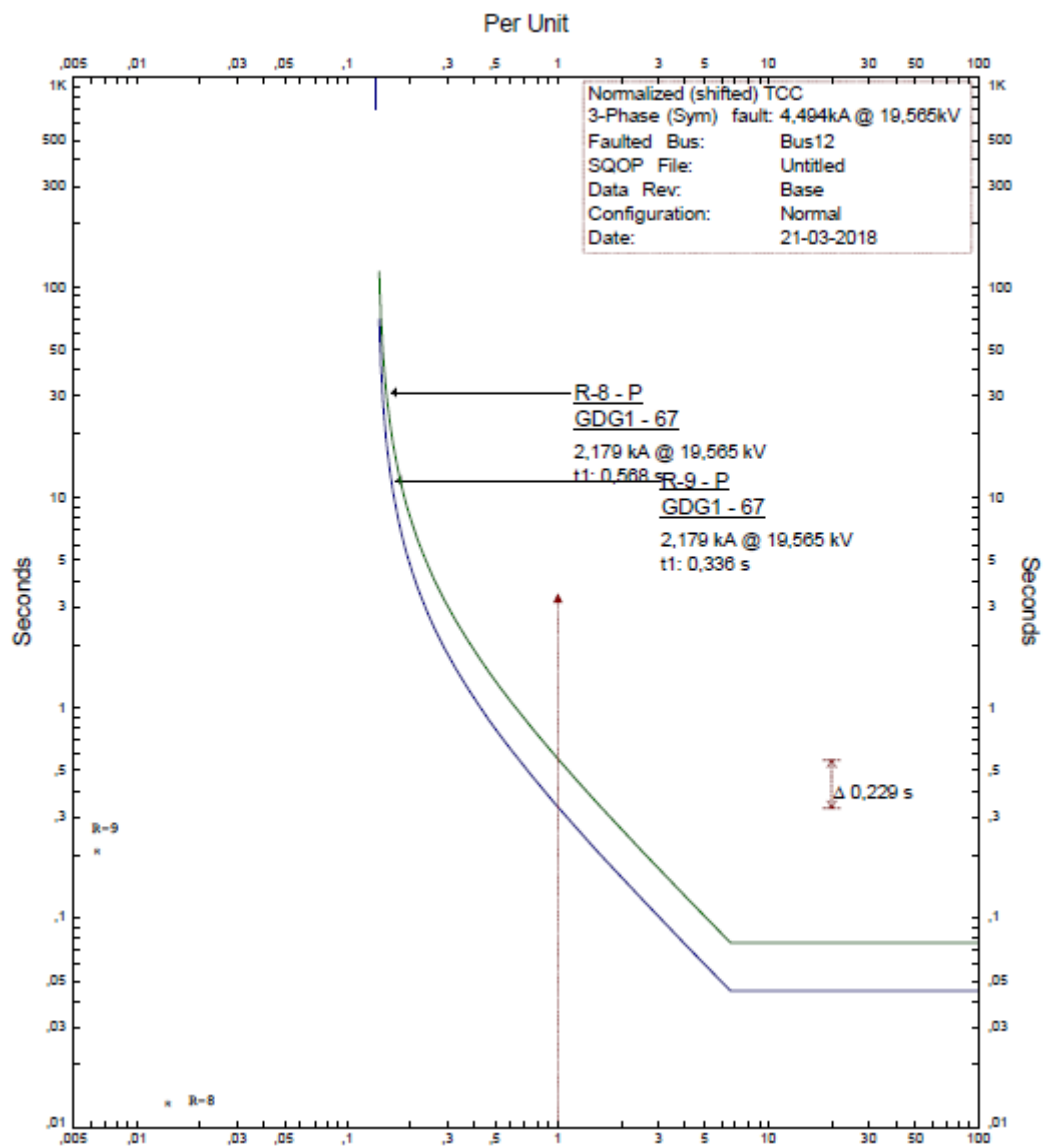
Dari plot TCC pada gambar 4.9 dan 4.10 dapat dilihat bahwa waktu operasi hasil optimasi menggunakan algoritma *firefly* lebih cepat dibandingkan dengan waktu operasi dengan perhitungan manual. Waktu operasi menggunakan algoritma *firefly* rele 2 adalah 0.364s lebih cepat dibandingkan pada perhitungan manual pada rele 2 yaitu 0.559s.

4.3.2 Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma *firefly* pada skema 2

Gambar 4.11 menunjukkan kurva TCC (Time Current Curve) dari hasil perhitungan manual dan gambar 4.12 menunjukkan kurva TCC hasil dari algoritma *firefly* pada skema 2.



Gambar 4.11 Plot Kurva TCC pada rele 8 dan rele 9 pada perhitungan manual

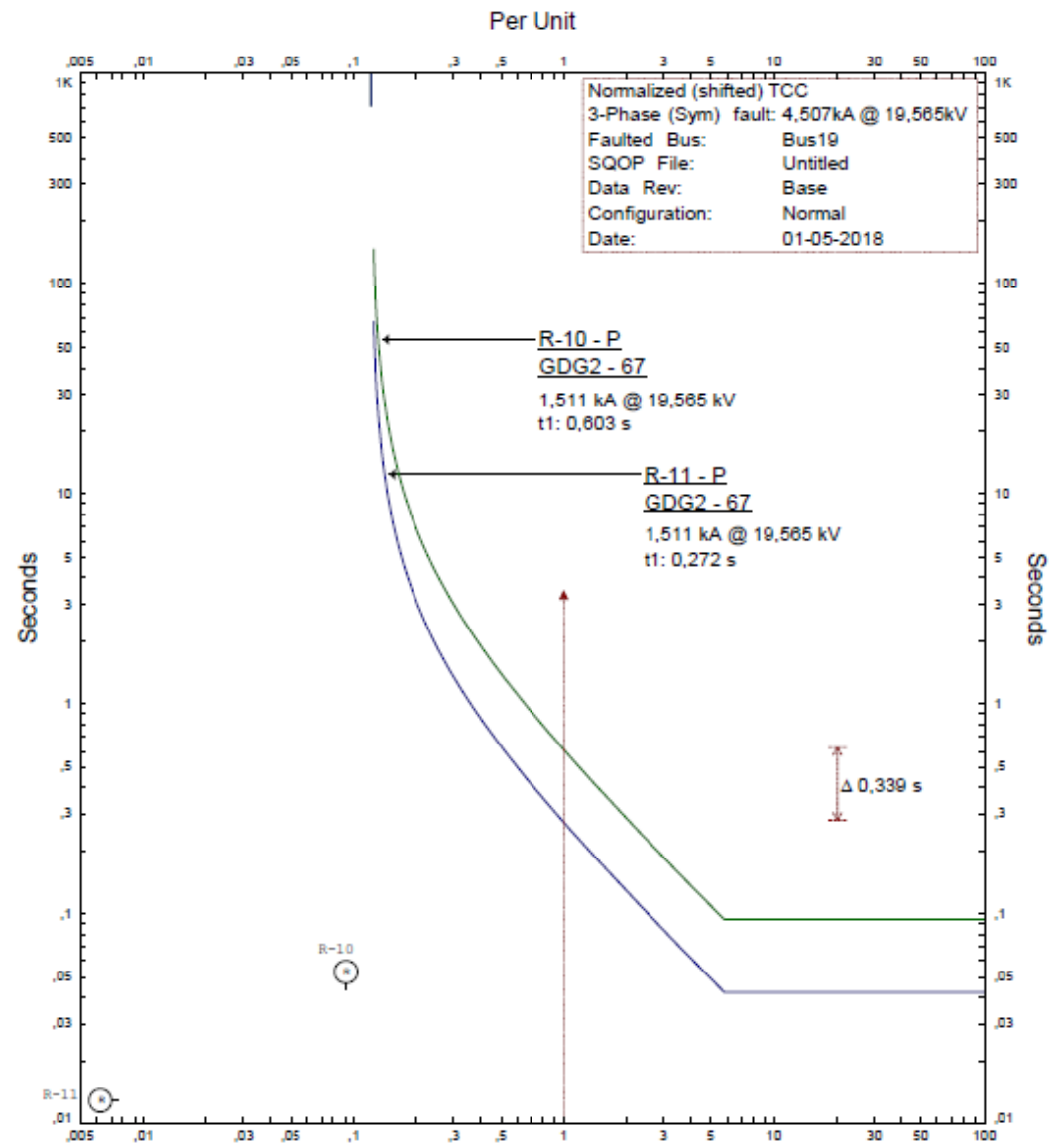


Gambar 4.12 Plot Kurva TCC pada rele 8 dan rele 9 menggunakan algoritma firefly

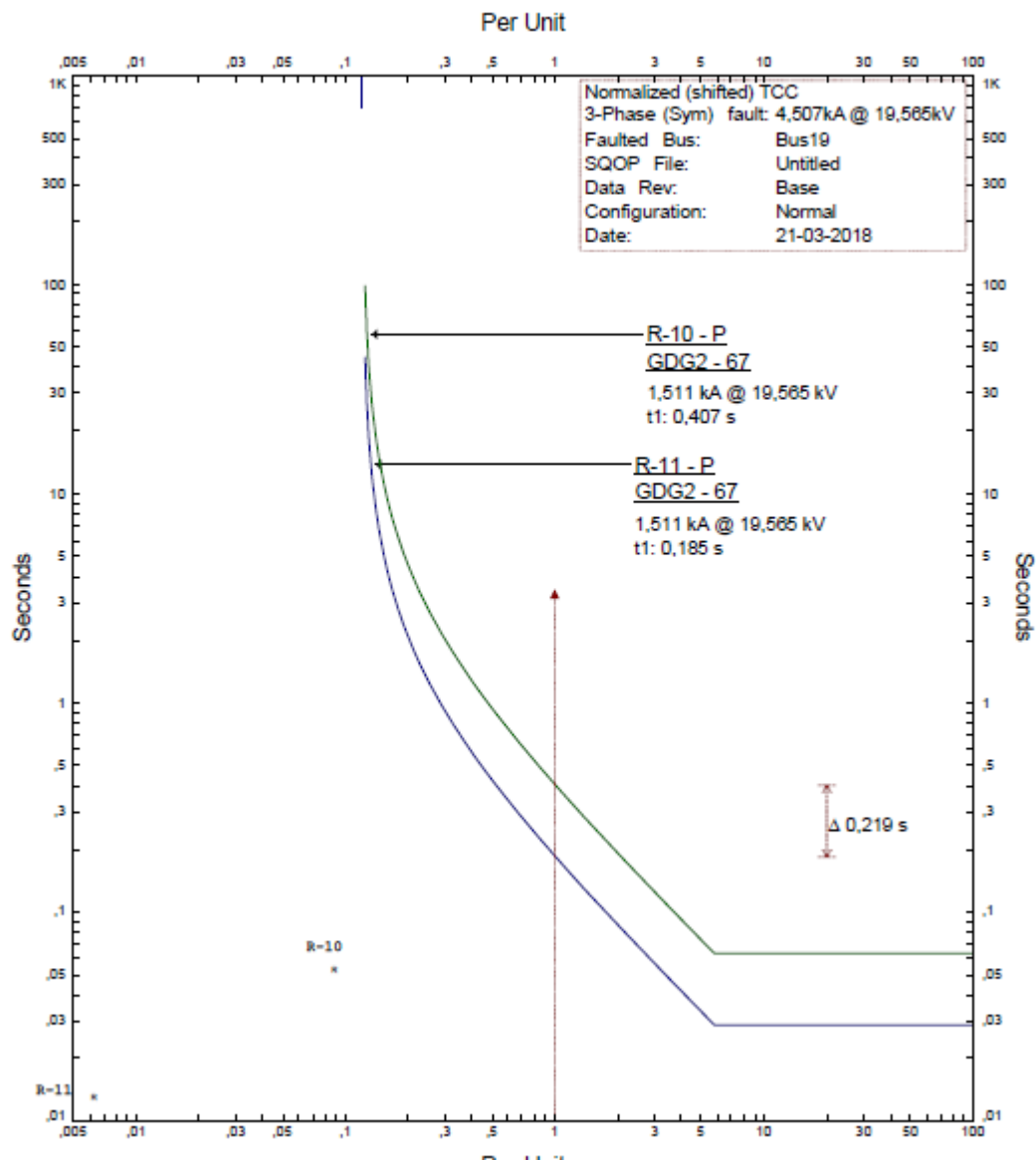
Dari plot TCC pada gambar 4.11 dan 4.12 dapat dilihat bahwa waktu operasi hasil optimasi menggunakan algoritma *firefly* lebih cepat dibandingkan dengan waktu operasi dengan perhitungan manual. Waktu operasi menggunakan algoritma *firefly* rele 9 adalah 0.336s lebih cepat dibandingkan pada perhitungan manual pada rele 9 yaitu 0.445s.

4.3.3 Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma *firefly* pada skema 3

Gambar 4.13 menunjukkan kurva TCC (Time Current Curve) dari hasil perhitungan manual dan gambar 4.14 menunjukkan kurva TCC hasil dari algoritma *firefly* pada skema 3.



Gambar 4.13 Plot Kurva TCC pada rele 10 dan rele 11 pada perhitungan manual

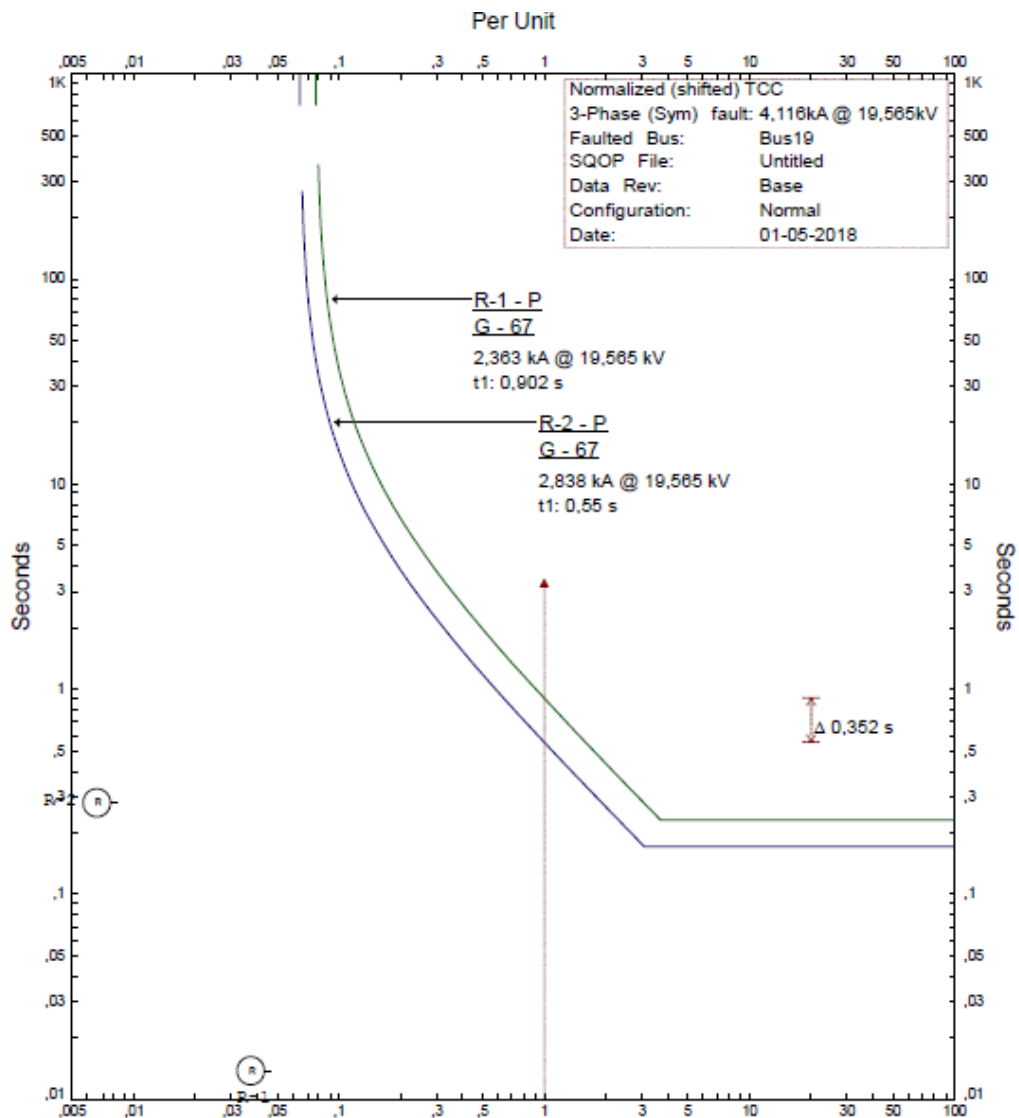


Gambar 4.14 Plot Kurva TCC pada rele 10 dan rele 11 menggunakan algoritma *firefly*

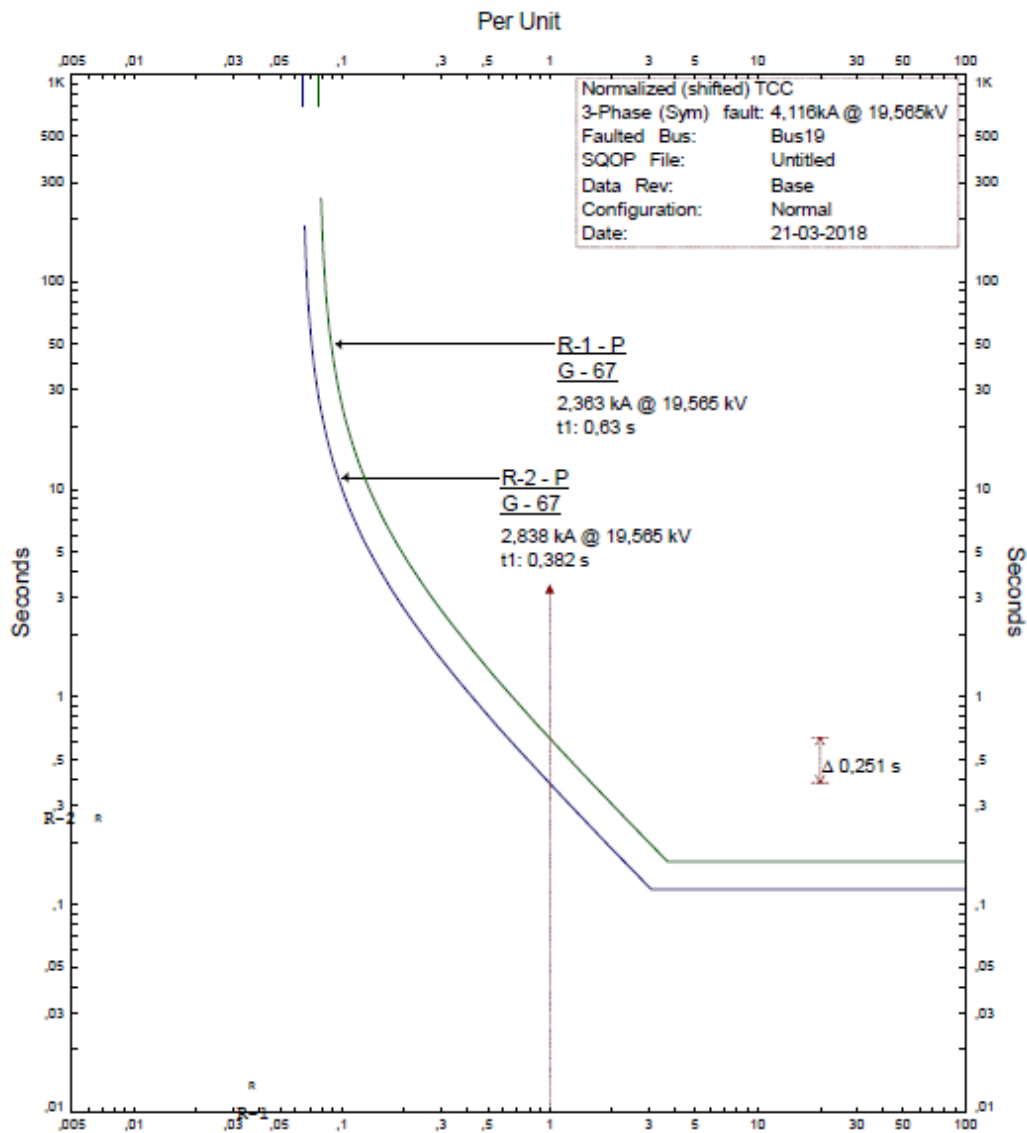
Dari plot TCC pada gambar 4.13 dan 4.14 dapat dilihat bahwa waktu operasi hasil optimasi menggunakan algoritma *firefly* lebih cepat dibandingkan dengan waktu operasi dengan perhitungan manual. Waktu operasi menggunakan algoritma *firefly* rele 11 adalah 0.185s lebih cepat dibandingkan pada perhitungan manual pada rele 11 yaitu 0.272s.

4.3.4 Perbandingan kurva hasil perhitungan manual dan algoritma *firefly* pada skema 4

Gambar 4.15 menunjukkan kurva TCC (Time Current Curve) dari hasil perhitungan manual dan gambar 4.16 menunjukkan kurva TCC hasil dari algoritma *firefly* pada skema 4.



Gambar 4.15 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 pada perhitungan manual



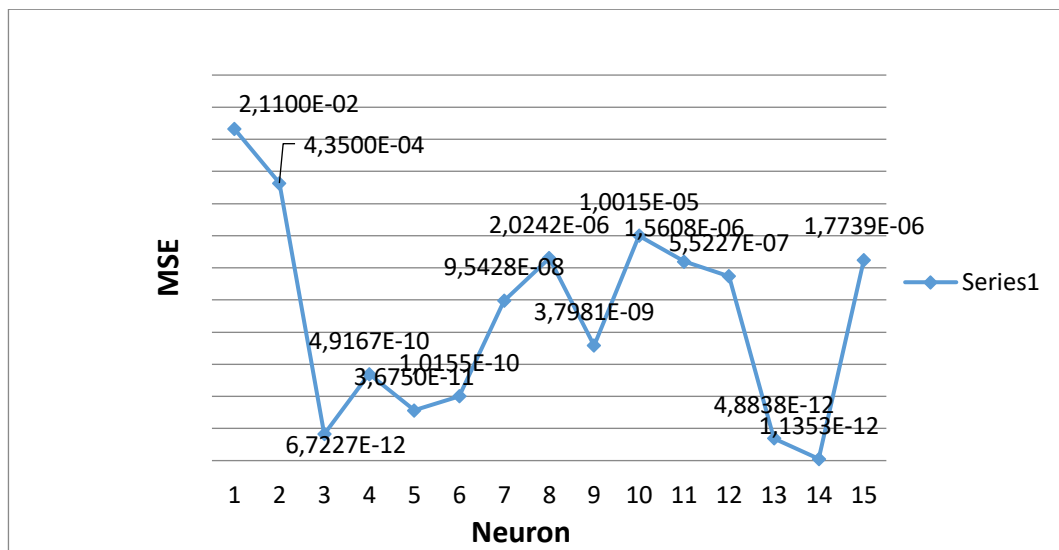
Gambar 4.16 Plot Kurva TCC pada rele 1 dan rele 2 menggunakan algoritma *firefly*

Dari plot TCC pada gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat bahwa waktu operasi hasil optimasi menggunakan algoritma *firefly* lebih cepat dibandingkan dengan waktu operasi dengan perhitungan manual. Waktu operasi menggunakan algoritma *firefly* rele 2 adalah 0.382s lebih cepat dibandingkan pada perhitungan manual pada rele 2 yaitu 0.55s.

4.4 Pelatihan dan Pengujian *Artificial Neural Network*

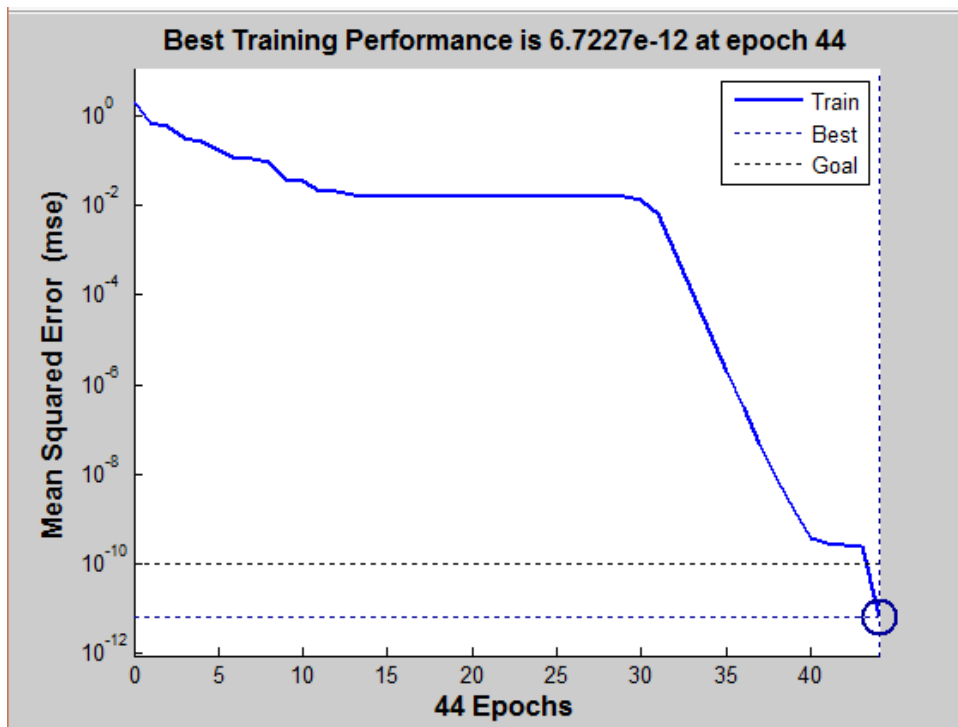
Proses pelatihan pada penelitian ini menggunakan teknik pelatihan backpropagasi. Terdiri dari 24 data yang akan dijadikan sebagai input data

sejumlah 15 data dan 26 keluaran. Proses ANN terdiri dari 80% untuk proses pelatihan, 20 % untuk pegujian. Untuk mendapatkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang paling minimum maka pelatihan dilakukan beberapa kali dengan cara merubah jumlah neuron didalam lapisan tersembunyi hingga hingga mendapatkan nilai MSE kecil dengan jumlah neuron paling sedikit. Grafik pengujian jumlah MSE dapat dilihat pada gambar 4.17.

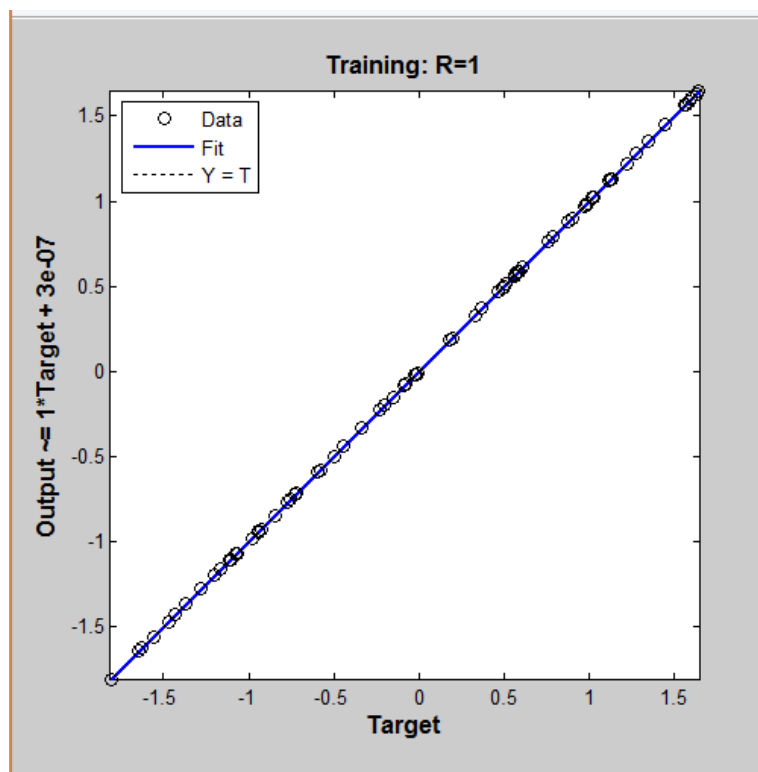


Gambar 4.17 Grafik MSE yang dilakukan beberapa kali percobaan

Gambar 4.17 menunjukkan kurva *Mean Squared Error* (MSE) hasil dari pelatihan dari 24 data dengan jumlah neuron yang berbeda pada lapisan tersembunyi. Dilakukan 15 kali variasi neuron untuk mendapatkan nilai MSE yang terkecil. MSE terkecil terdapat pada neuron 3. Selanjutnya data neuron yang memiliki nilai MSE yang paling kecil ini akan dijadikan sebagai data pengujian. Nilai MSE terkecil terdapat pada percobaan dengan neuron 14, akan tetapi pada percobaan dengan jumlah neuron 3 sudah mendapatkan hasil yang konvergen sehingga dipilih MSE pada neuron 3. Nilai MSE yang terkecil dan optimal ditampilkan pada Gambar 4.18.



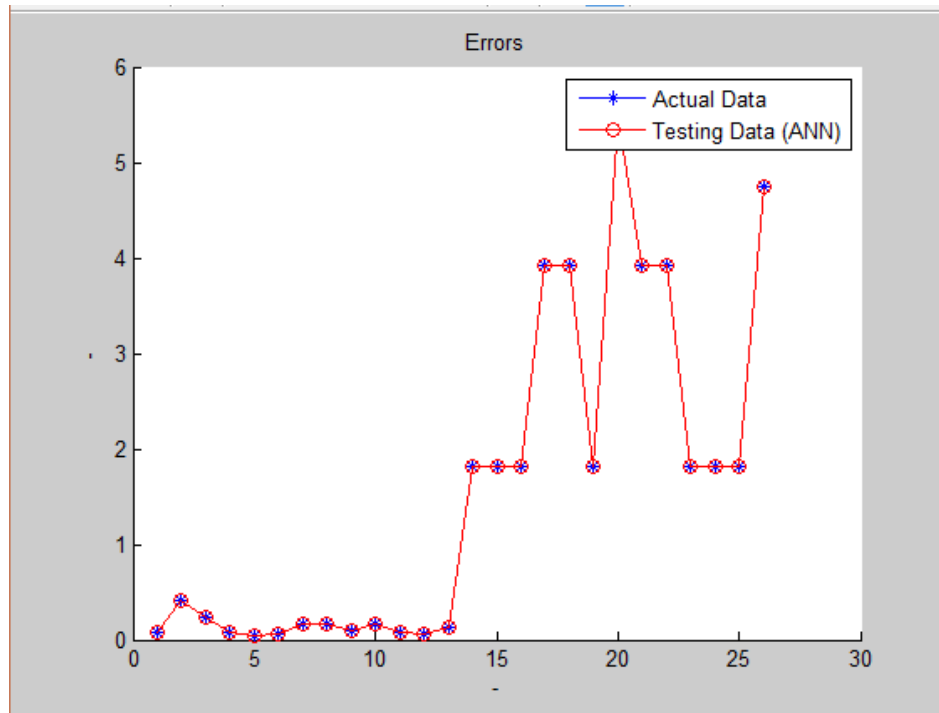
Gambar 4.18 Kurva *Best Training Performance*



Gambar 4.19 Kurva Kesesuaian hasil dengan Target

Dari gambar 4.19 menunjukkan kurva kesesuaian antara data target dan data pelatihan, validasi dan pengujian. Kesesuaian antara data target dan keluaran ANN yang sama yang ditunjukkan oleh nilai 1.

Gambar 4.20 menunjukkan kesesuaian data target dengan data pengujian yang dilihat dari jumlah eror.



Gambar 4.20 Kesuaian Data Pengujian Dan Target

4.4.1 Skema 1 (*Generator, DG1 dan DG2*)

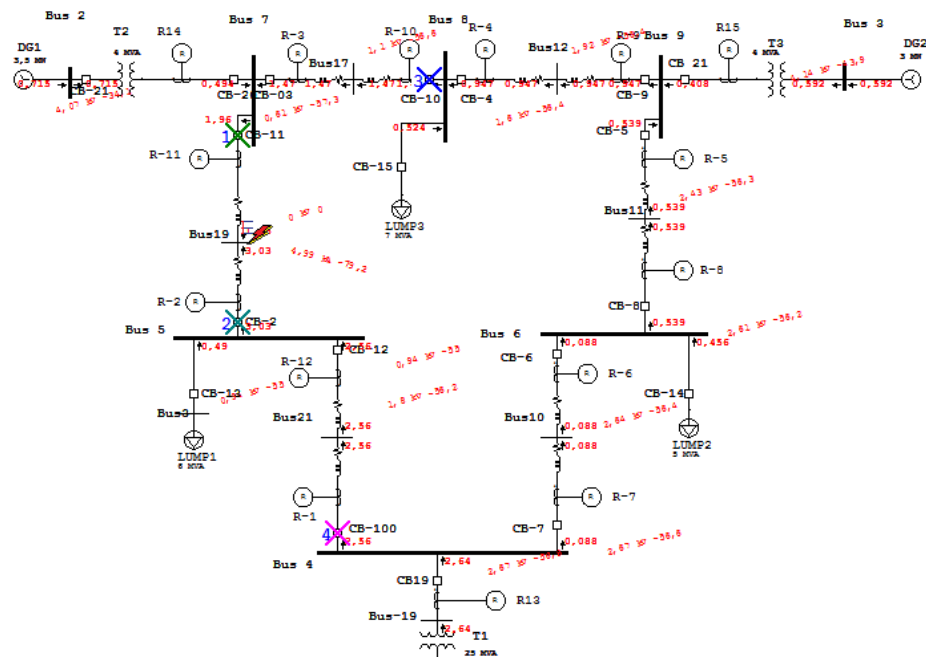
Tabel 4.10 menunjukkan hasil perbandingan target data dengan hasil dari pengujian menggunakan ANN.

Pada Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan Ipickup target dan hasil pengujian ANN. Sampai 4 angka dibelakang koma nilai TDS semuanya mirip. Selanjutnya hasil ANN akan diuji coba pada ETAP untuk memastikan koordinasi masih berjalan dengan baik.

Tabel 4.10 Kondisi Pembangkitan Terhubung Generator, DG1, dan DG2

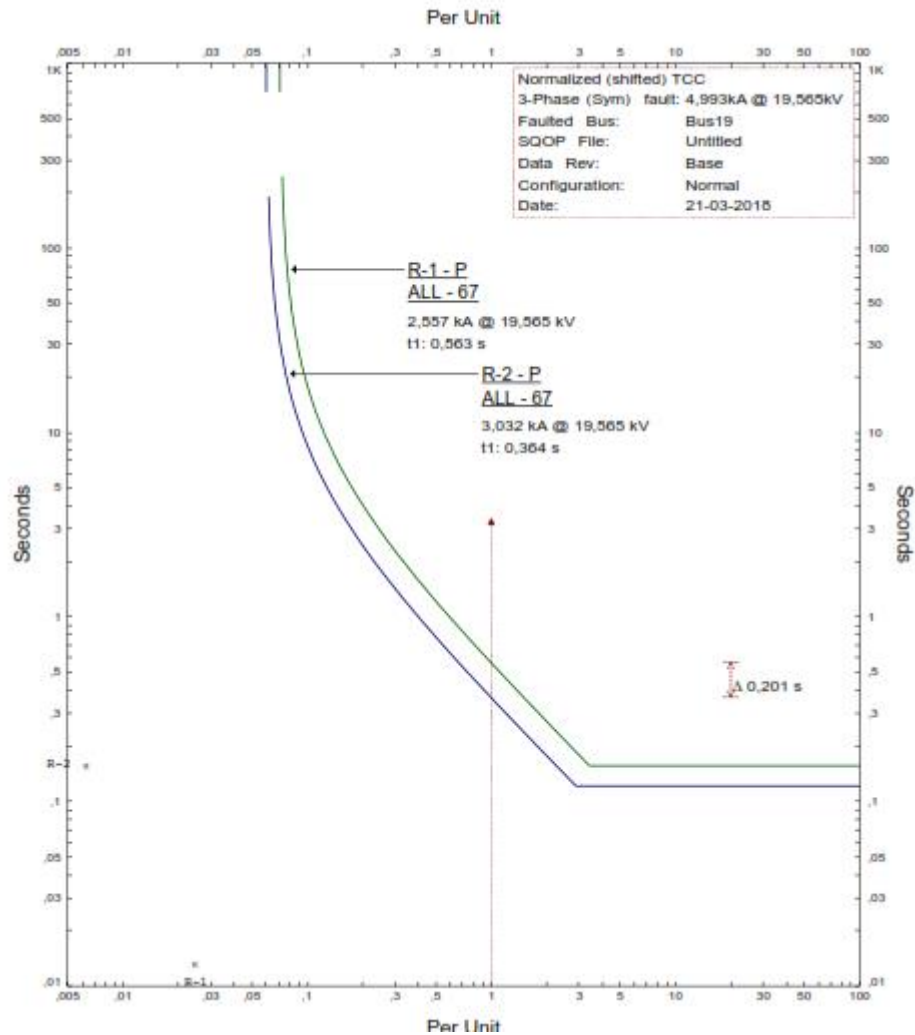
Rele	Target		NN	
	TDS	Ipickup	TDS	Ipickup
1	0,544359	1,8186	0,5443609	1,8186
2	0,422371	1,8207	0,4223716	1,8207
3	0,316595	1,8186	0,3166161	1,8186
4	0,117716	3,003	0,1177187	3,003
5	0,10517	2,3919	0,1051676	2,3919
6	0,046618	3,717	0,046618	3,717
7	0,234768	3,717	0,234767	3,717
8	0,29626	2,3919	0,2962576	2,3919
9	0,171494	3,003	0,1714924	3,003
10	0,238602	1,8186	0,2386143	1,8186
11	0,190107	1,8207	0,1901048	1,8207
12	0,143473	1,8186	0,143473	1,8186
13	0,11148	4,73813	0,1114825	4,73813

Gambar 4.21 menunjukkan simulasi hubung singkat pada skema 1 dengan gangguan yang terjadi pada bus 19.



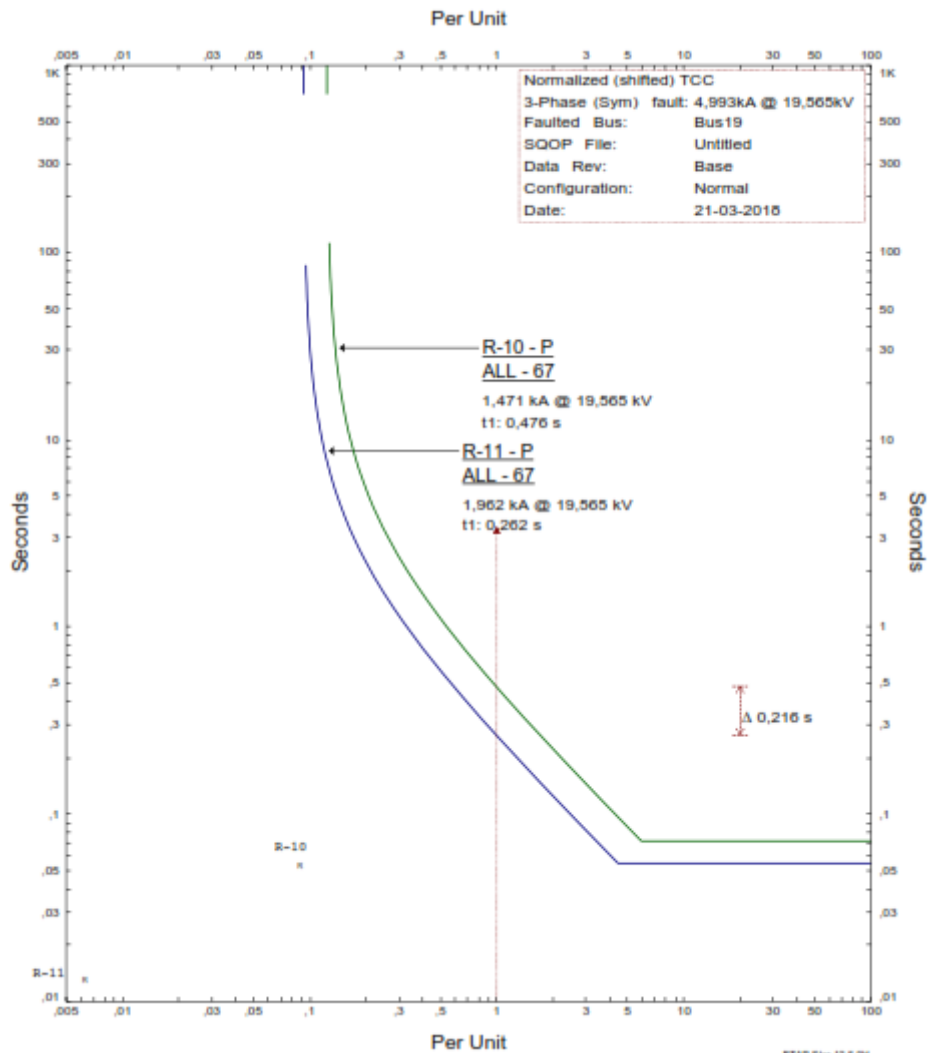
Gambar 4.21 Simulasi Koordinasi Rele Skema 1

Dari simulasi hubung singkat pada bus 19. Rele terkoordinasi dengan baik yang ditunjukkan pada kurva rele pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Kurva Rele 1 dan Rele 2 Saat Hubung Singkat pada Bus 19

Pada gambar 4.22 menunjukkan Rele 2 trip terlebih dahulu dilanjutkan dengan rele backup rele 1.



Gambar 4.23 Kurva Rele 11 dan 10 Saat Hubung Singkat pada Bus 19

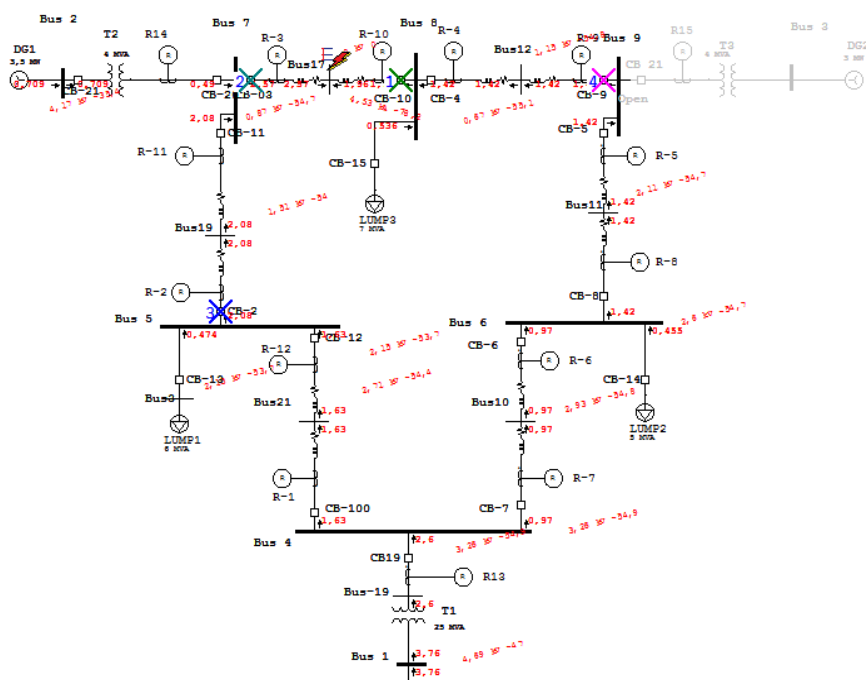
4.4.2 Skema 2 (Generator dan DG1)

Tabel 4.11 menunjukkan hasil perbandingan target data dengan hasil dari pengujian menggunakan ANN.

Pada Tabel 4.11 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan Ipickup target dan hasil pengujian ANN. Sampai 4 angka dibelakang koma nilai TDS semuanya mirip. Selanjutnya hasil ANN akan diuji coba pada ETAP untuk memastikan koordinasi masih berjalan dengan baik.

Tabel 4.11 Kondisi Pembangkitan Terhubung generator dan DG1

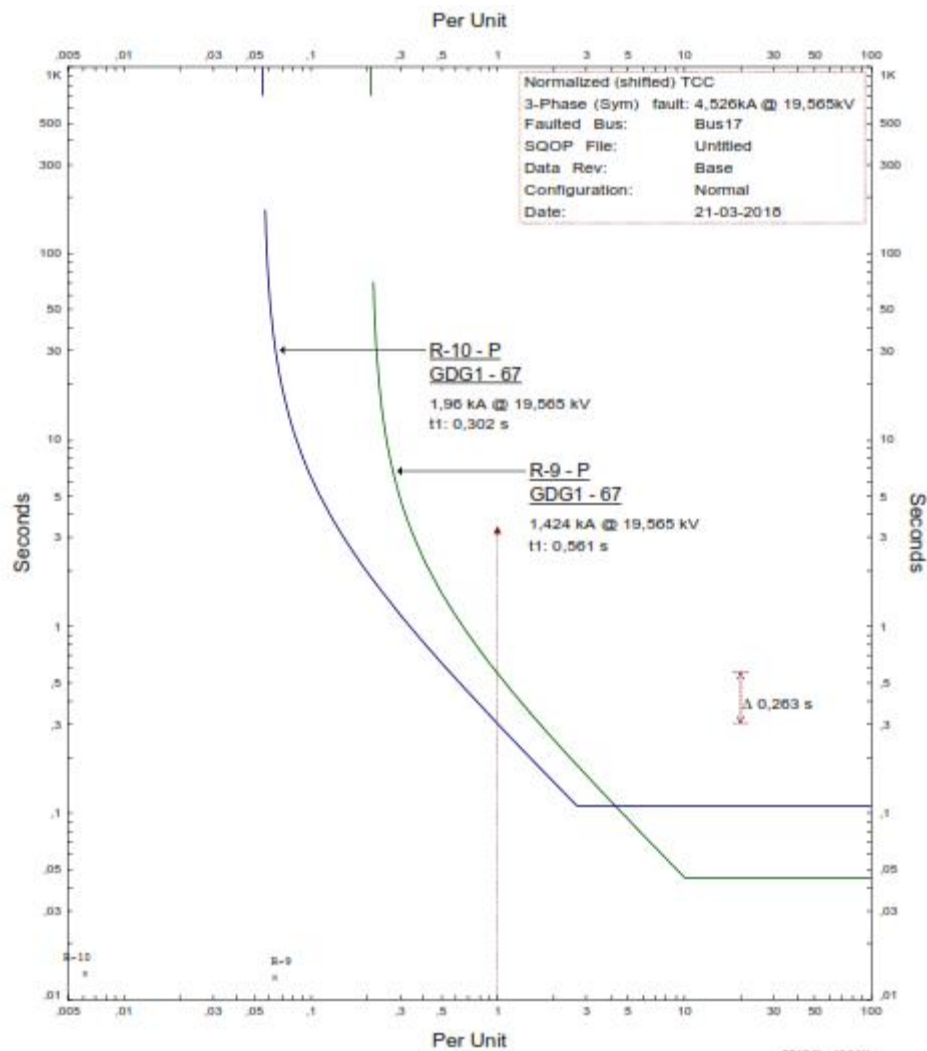
Rele	Target		NN	
	TDS	Ipickup	TDS	Ipickup
1	0,56173684	1,8186	0,561736837	1,8186
2	0,432975002	1,8207	0,432975001	1,8207
3	0,563133498	1,0857	0,563133473	1,0857023
4	0,145001144	2,99565	0,145001141	2,9956485
5	0,073510816	2,99565	0,073510819	2,99565
6	0,049573576	1,8186	0,049573576	1,8186091
7	0,219481831	4,48245	0,219481833	4,4824493
8	0,26415633	2,99565	0,264156332	2,99565
9	0,156306179	2,99565	0,15630618	2,9956485
10	0,381387259	1,0857	0,381387245	1,0857023
11	0,158606286	1,8207	0,158606289	1,8207
12	0,14814171	1,8186	0,148141709	1,8186
13	0,136567611	4,73812 5	0,136567608	4,738125



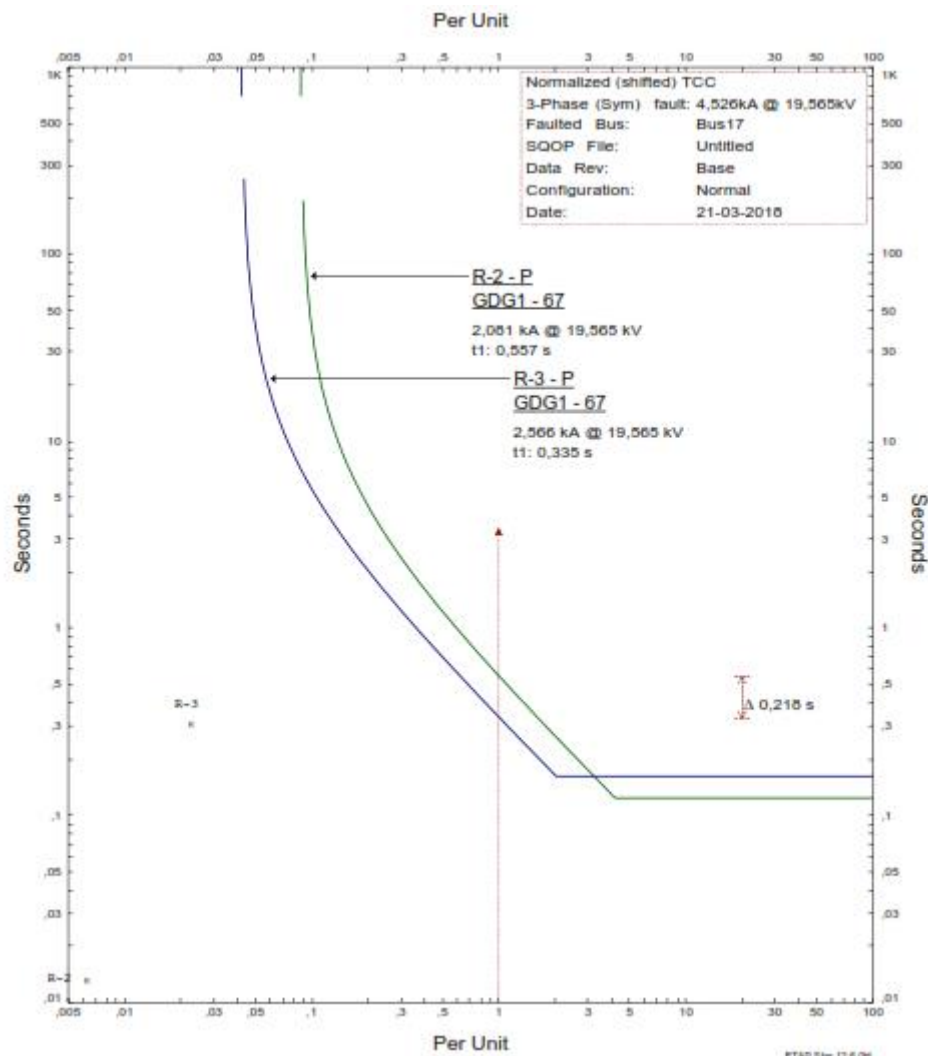
Gambar 4.24 Simulasi Koordinasi Rele Skema 2

Gambar 4.24 menunjukkan simulasi hubung singkat pada skema 1 dengan gangguan yang terjadi pada bus 17.

Dari simulasi hubung singkat pada bus 17. Rele terkoordinasi dengan baik yang ditunjukkan pada kurva rele pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Kurva Rele 10 dan rele 9 Saat Hubung Singkat pada Bus 17



Gambar 4.26 Kurva Rele 3 dan 2 Saat Terjadi Hubung Singkat Pada Bus 17

4.4.3 Skema 3 (Generator dan DG2)

Tabel 4.12 menunjukkan hasil perbandingan target data dengan hasil dari pengujian menggunakan ANN.

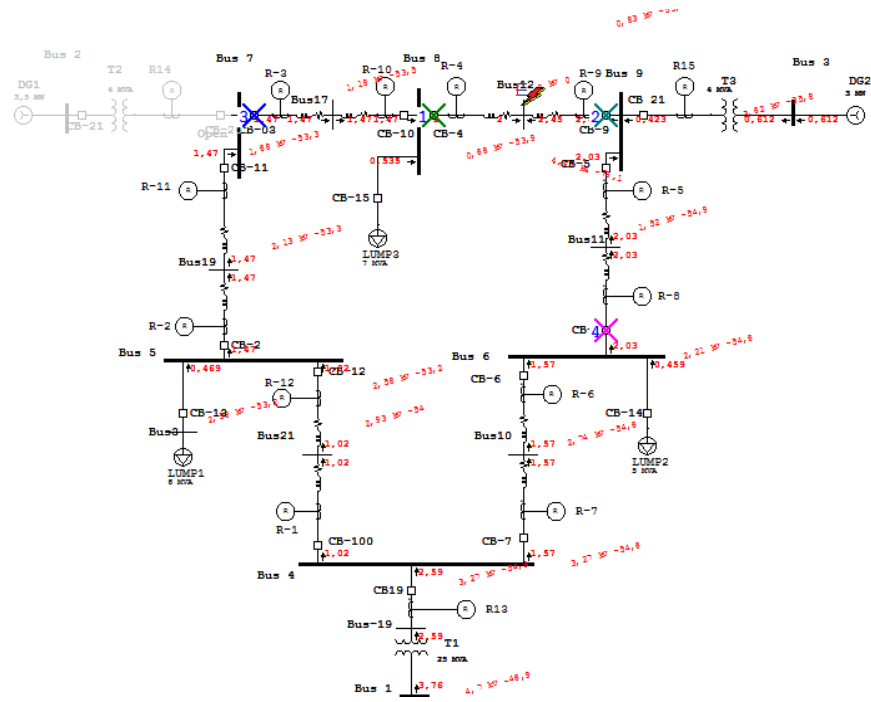
Pada Tabel 4.12 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan Ipickup target dan hasil pengujian ANN. Sampai 4 angka dibelakang koma nilai TDS semuanya mirip. Selanjutnya hasil ANN akan diuji coba pada ETAP untuk memastikan koordinasi masih berjalan dengan baik.

Tabel 4.12 Kondisi Pembangkitan Terhubung generator dan DG2

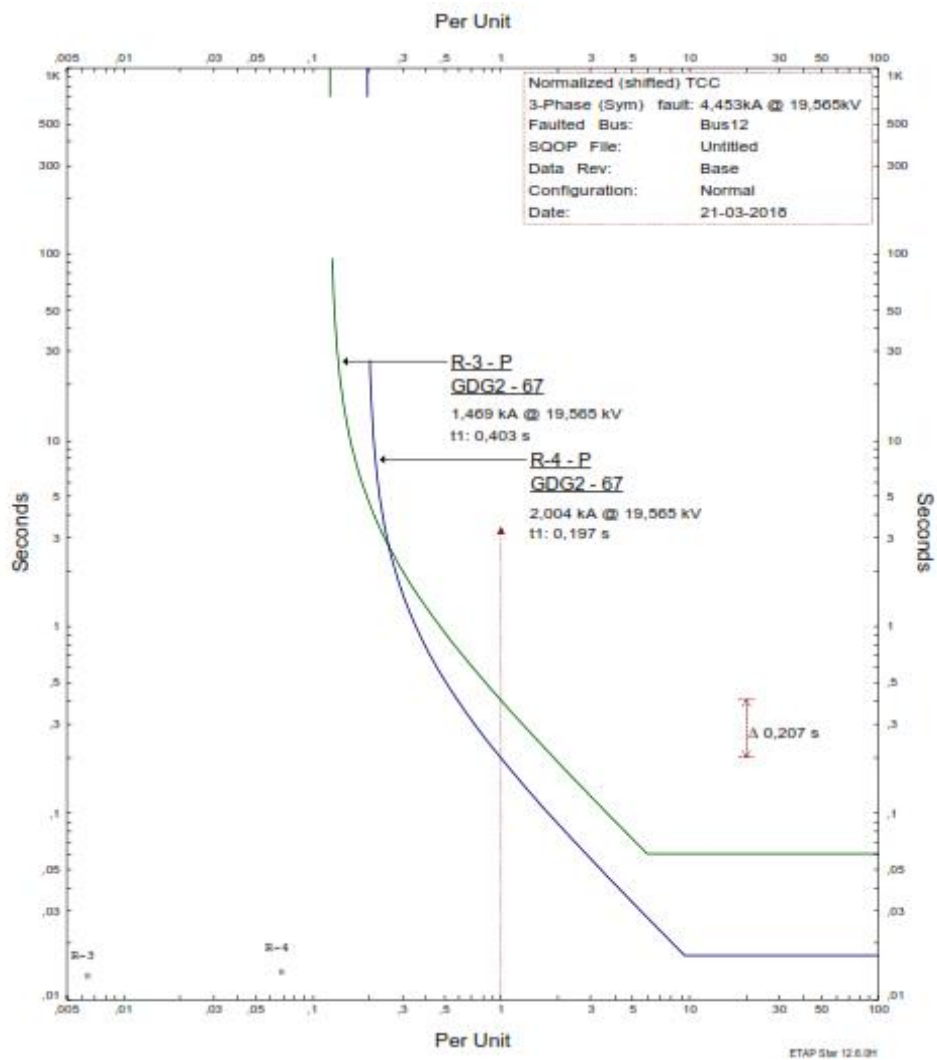
Rele	Target		NN	
	TDS	Ipickup	TDS	Ipickup
1	0,094508	1,8186	0,0945076	1,8186
2	0,391209	1,82175	0,3912094	1,82175
3	0,238253	1,82175	0,2382535	1,82175
4	0,060487	3,92595	0,0604875	3,92595
5	0,050388	2,9988	0,0503882	2,9988
6	0,034831	1,8186	0,0348305	1,8186
7	0,229503	4,48665	0,2295029	4,48665
8	0,2218	2,9988	0,2218	2,9988
9	0,123101	3,92595	0,1231015	3,92595
10	0,221659	1,82175	0,221659	1,82175
11	0,109157	1,82175	0,1091569	1,82175
12	0,068259	1,8186	0,0682592	1,8186
13	0,134233	4,73813	0,1342334	4,73813

Gambar 4.27 menunjukkan simulasi hubung singkat pada skema 1 dengan gangguan yang terjadi pada bus 21.

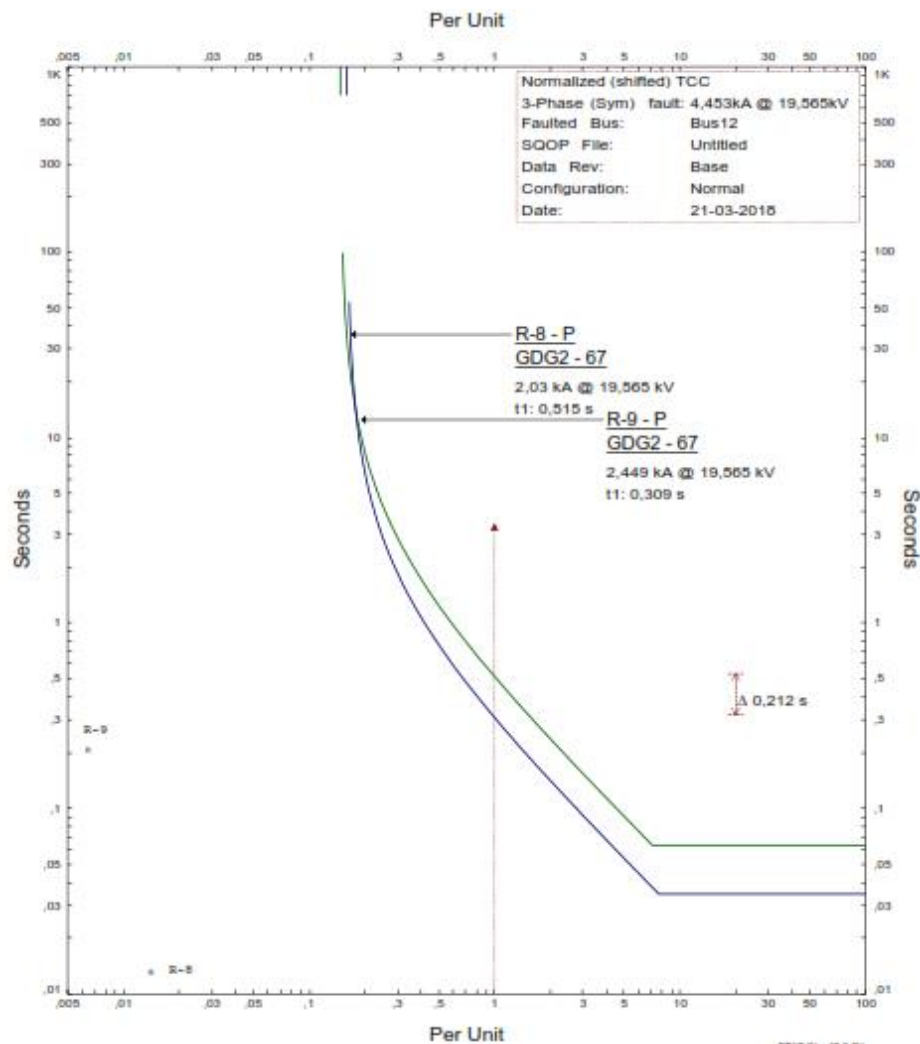
Dari simulasi hubung singkat pada bus 12. Rele terkoordinasi dengan baik yang ditunjukkan pada kurva rele pada gambar 4.28.



Gambar 4.27 Simulasi Koordinasi Rele Skema 3



Gambar 4.28 Kurva Rele 4 dan 3 Saat Hubung Singkat pada Bus 12



Gambar 4.29 Kurva Rele 9 dan 8 Saat Tejadi Hubung Singkat pada bus 12

4.4.4 Skema 4 (Generator)

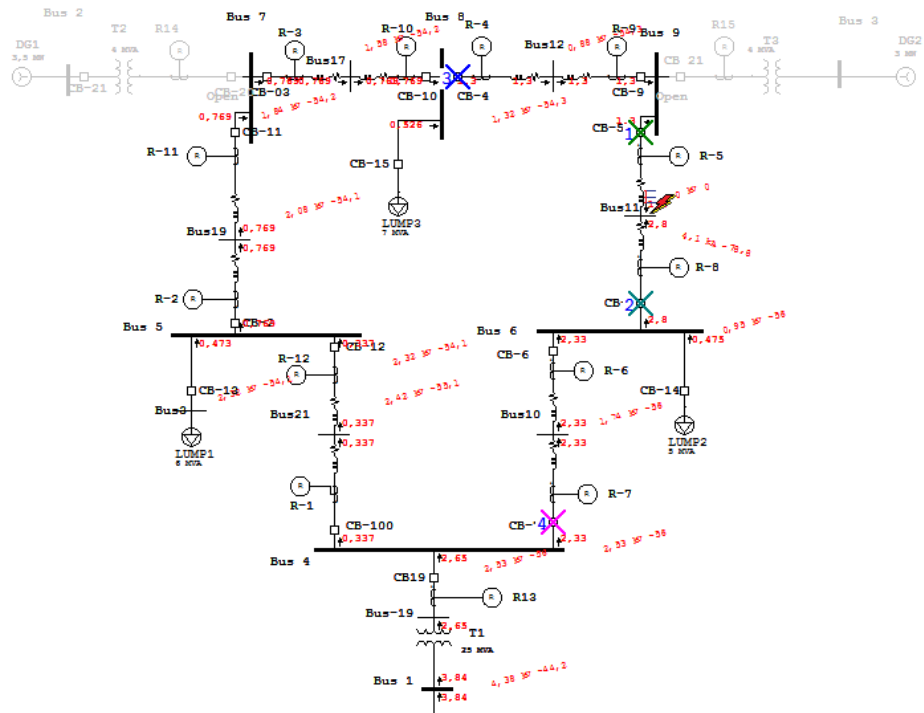
Tabel 4.13 menunjukkan hasil perbandingan target data dengan hasil dari pengujian menggunakan ANN.

Pada Tabel 4.13 menunjukkan perbandingan nilai TDS dan Ipickup target dan hasil pengujian ANN. Sampai 4 angka dibelakang koma nilai TDS semuanya mirip. Selanjutnya hasil ANN akan diuji coba pada ETAP untuk memastikan koordinasi masih berjalan dengan baik.

Tabel 4.13 Kondisi Pembangkitan Terhubung generator

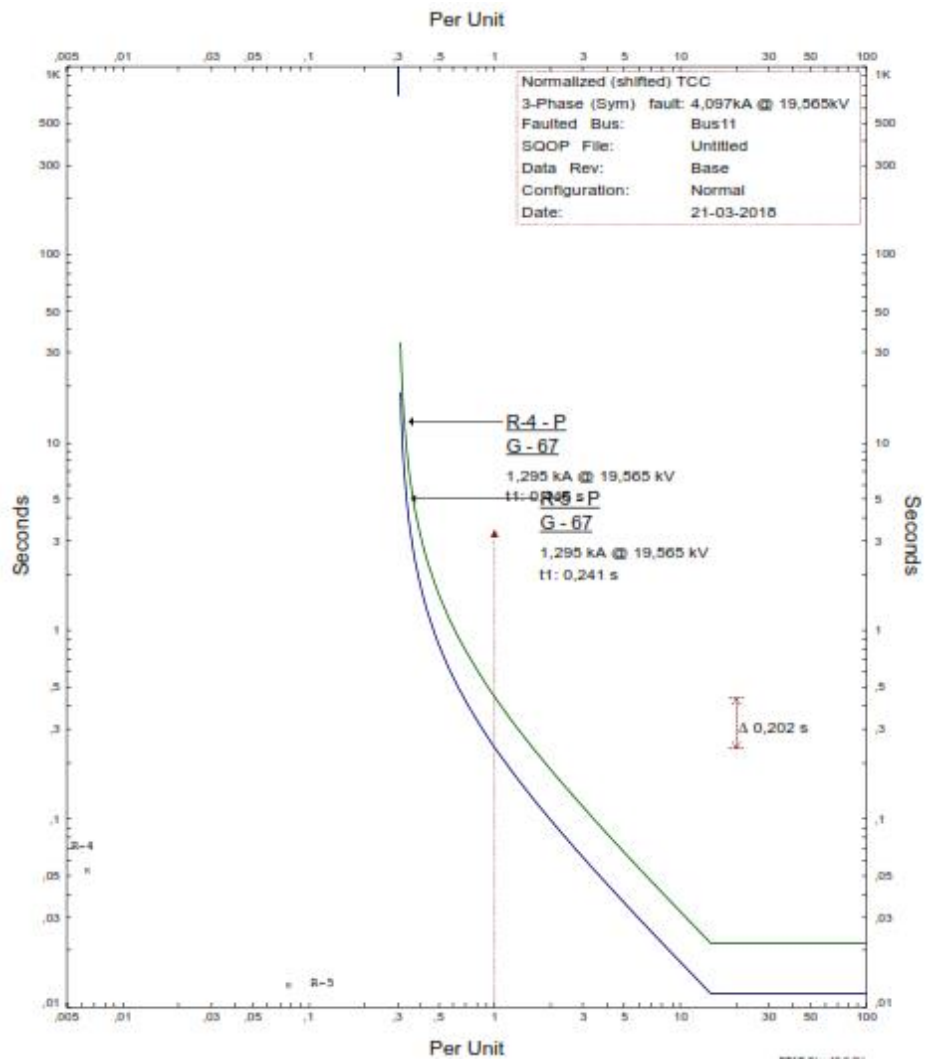
Rele	Target		NN	
	TDS	Ipickup	TDS	Ipickup
1	0,07236272	1,8186	0,0723617	1,8186
2	0,41244131	1,8228	0,4124415	1,8228
3	0,24109936	1,8228	0,2410988	1,8228
4	0,07565177	3,9249	0,0756518	3,9249
5	0,04053728	3,9249	0,0405371	3,9249
6	0,05813031	1,8186	0,0581306	1,8186
7	0,16673452	5,4411	0,1667338	5,4411
8	0,15957402	3,9249	0,1595732	3,9249
9	0,09412158	3,9249	0,0941212	3,9249
10	0,17126632	1,8228	0,1712654	1,8228
11	0,0745422	1,8228	0,0745417	1,8228
12	0,06122514	1,8186	0,0612249	1,8186
13	0,13177055	4,738125	0,1317705	4,73813

Gambar 4.30 menunjukkan simulasi hubung singkat pada skema 1 dengan gangguan yang terjadi pada bus 11.

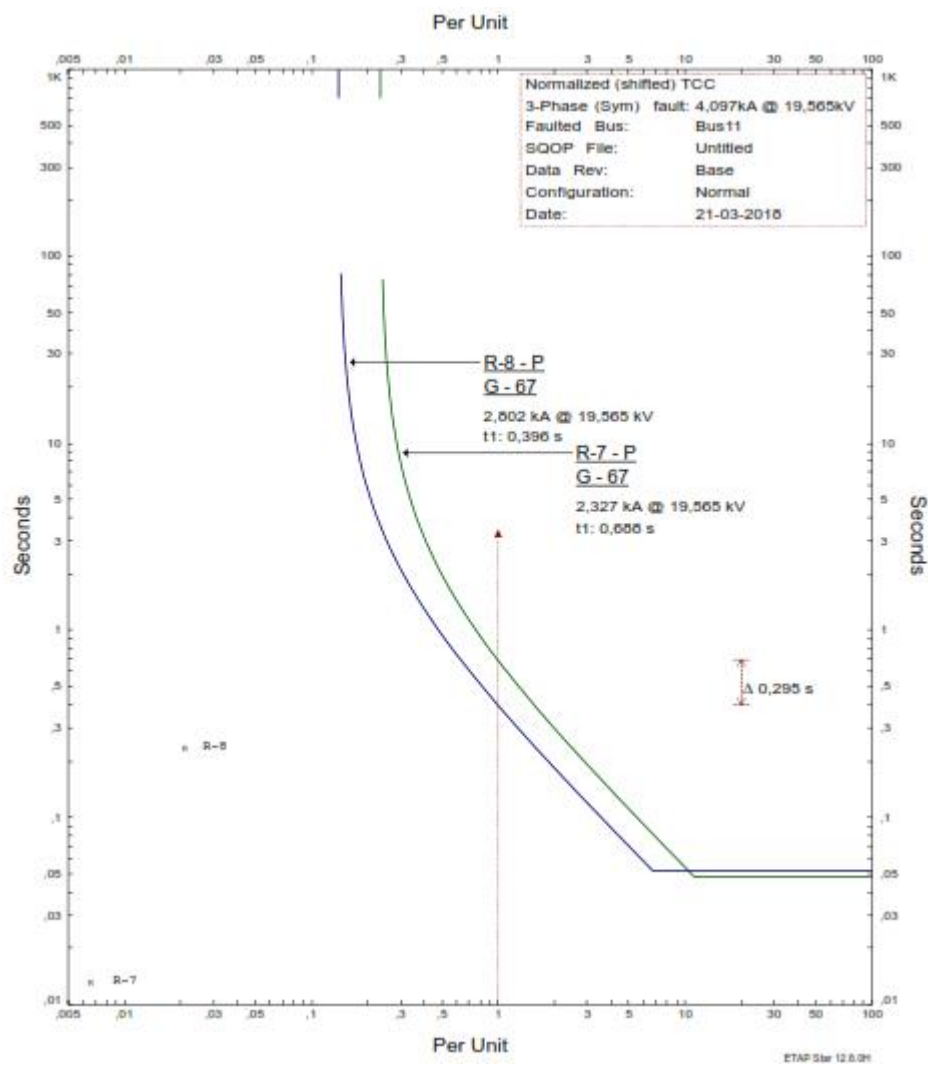


Gambar 4.30 Simulasi Koordinasi Rele Skema 4

Dari simulasi hubung singkat pada bus 11. Rele terkoordinasi dengan baik yang ditunjukkan pada kurva rele pada gambar 4.31.



Gambar 4.31 Kurva Rele 5 dan 4 Saat Hubung Singkat pada bus 11



Gambar 4.32 Kurva Rele 8 dan 7 Saat Tejadi Hubung Singkat pada bus 11

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma *Firefly* dapat mengerjakan optimisasi dalam menentukan TDS dengan fungsi objektif berupa waktu operasi.
2. Pelatihan dan pengujian algoritma *neural network* dengan data input berupa arus hubung singkat maksimum yang didapat dari kombinasi pembangkitan dan lokasi gangguan dapat menentukan nilai *TDS dan Ipickup* yang sesuai dengan target.
3. Dari 24 data pelatihan yang dilakukan pada 10 neuron didapatkan hasil MSE terkecil = $1,1666E-11$ dan dilakukan pengujian ANN dengan menggunakan data dari MSE terkecil dan didapatkan nilai *TDS dan Ipickup* yang sesuai dengan target data.
4. Data hasil pengujian ANN diuji coba pada ETAP dan didapatkan hasil bahwa koordinasi masih berjalan dengan baik.
5. Algoritma ANN-Firefly dapat digunakan pada koordinasi sistem proteksi yang adaptif pada sistem loop dengan penambahan DG.
6. Untuk penelitian selanjutnya dilakukan dengan sistem distribusi yang lebih kompleks dengan penambahan DG yang lebih.
7. Diterapkan pada sistem dengan banyak loop.
8. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan algoritma optimisasi lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jing M, Xi W dan Yagang Z, “A novel adaptive current protection scheme for distribution systems with distributed generation”, Elsevier Electrical power and energy systems, no. 43, 2012, hal 1480-1486..
- [2] H. M. Sharaf, H. H. Zeineldin, D. K. Ibrahim, dan E. E. D. A. E. Zahab, “Protection coordination of directional overcurrent relays considering fault current direction,” in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*, 2014, hal. 1–5.
- [3] A. K. Sahoo, “Protection of microgrid through coordinated directional over-current relays,” in *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference - South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 2014, hal. 129–134.
- [4] Zeineldin. H, Hebatallah. M. s, dan Doaa K. Ibrahim, “Protection Coordination for Meshed Distribution Systems With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays,” *IEEE Trans. On*, vol. 6, no. 1, hal. 115–123, Jan 2015.
- [5] A. Alipour dan M. Pacis, “Optimal coordination of directional overcurrent relays (DOCR) in a ring distribution network with distributed generation (DG) using genetic algorithm,” in *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2016, hal. 3109–3112.
- [6] Hussain, M.H., Rahim, S.R.A., Musirin, I.: ‘Optimal overcurrent relay coordination: a review’. Malaysia Technical Universities Conf. On Engineering & Technology, MUCET, 2012
- [7] X.S. Yang, “Nature-Inspired Meta-Heuristic Algorithms”, published by Luniver Press, United Kingdom, 2008.
- [8] Gozde H, Taplamacioglu MC, Kocaarslan I. Comparative performance analysis of artificial bee colony algorithm in automatic generation control for interconnected reheat thermal power system. *Int J Electr Power Energy Syst* 2012;42:167–78.
- [9] Lin W, Liu PX. Hammerstein model identification based on bacterial foraging. *Electron Lett* 2006;42:1332–4.
- [10] Lukasik S, Zak S. Firefly algorithm for continuous constrained optimization task. In: Ngugen NT, Kowalczyk R, Chen SM, editors. *ICCCI 2009, Lecture notes in artificial intelligence*, vol. 5796; 2009. p. 97–100
- [11] D. S. Kumar, B. M. Radhakrishnan, D. Srinivasan, dan T. Reindl, “An adaptive fuzzy based relay for protection of distribution networks,” in *2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2015, hal. 1–6.
- [12] Senthilnath J, Omkar SN, Mani V. Clustering using firefly algorithm: performance study. *Swarm Evol Computat* 2011;1:164–71
- [13] Purnomo M.H dan Kurniawan A, ”Supervised Neural Networks dan Aplikasinya”, Graha Ilmu, 2006, hal 2-33
- [14] Kusumadewi S, “Membangun Jaringan syaraf Tiruan Menggunakan Matlab dan Excel link”, Graha Ilmu

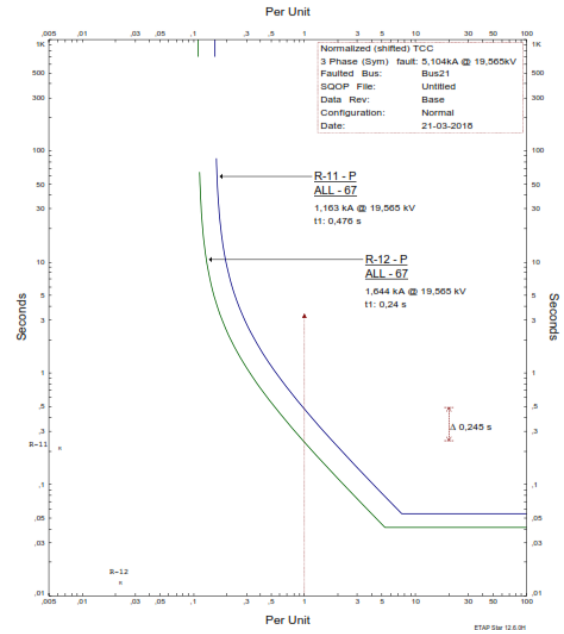
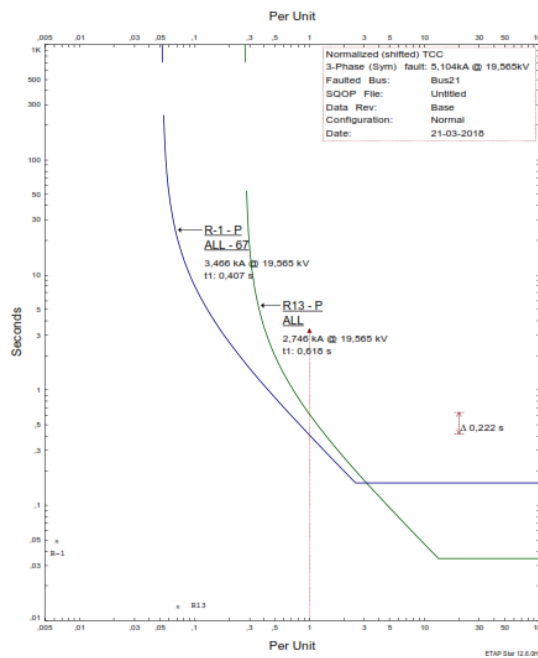
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

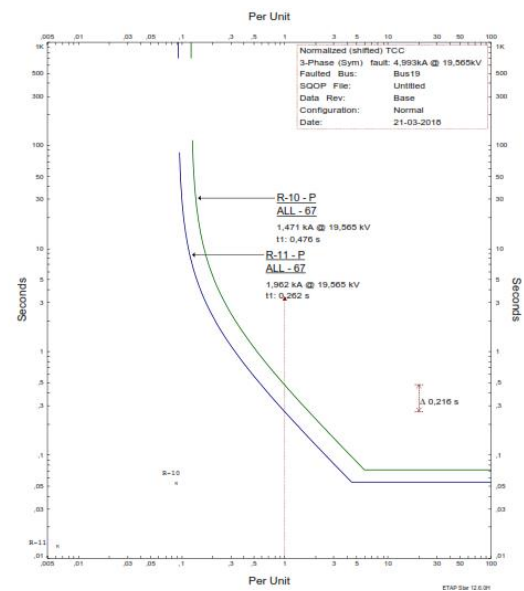
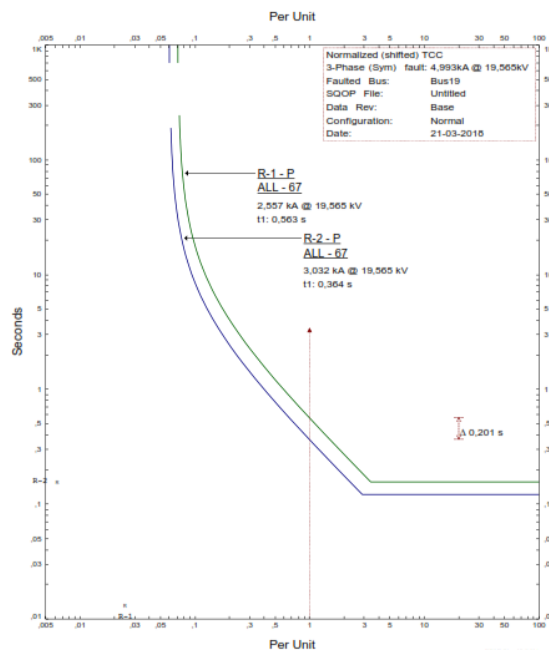
1. Kurva Rele

a) Skema 1

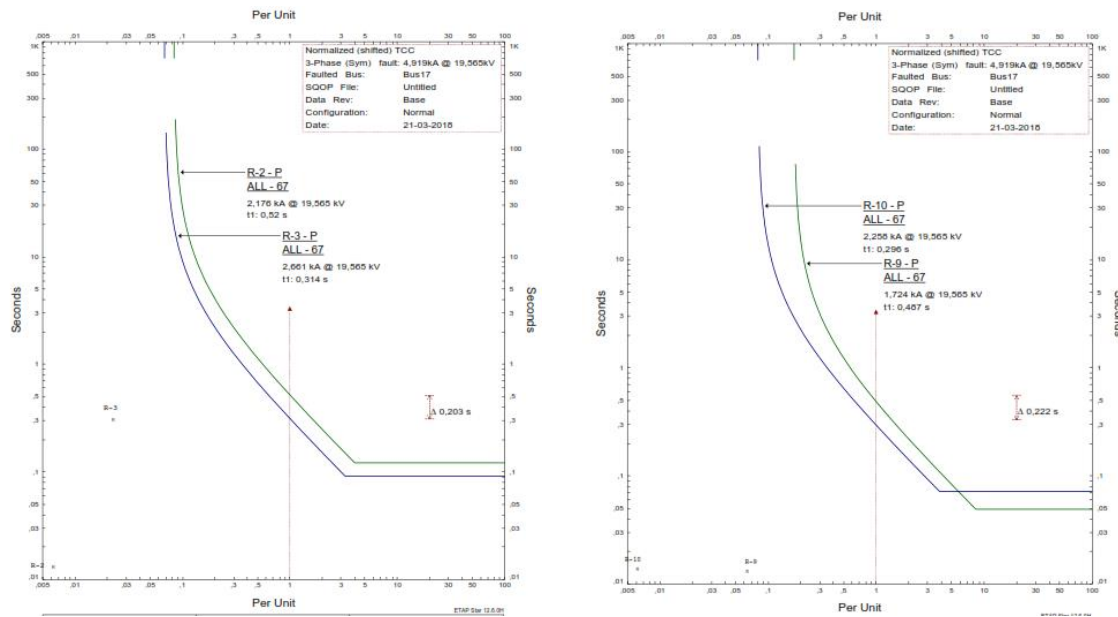
- Terjadi hubung singkat pada Bus 21



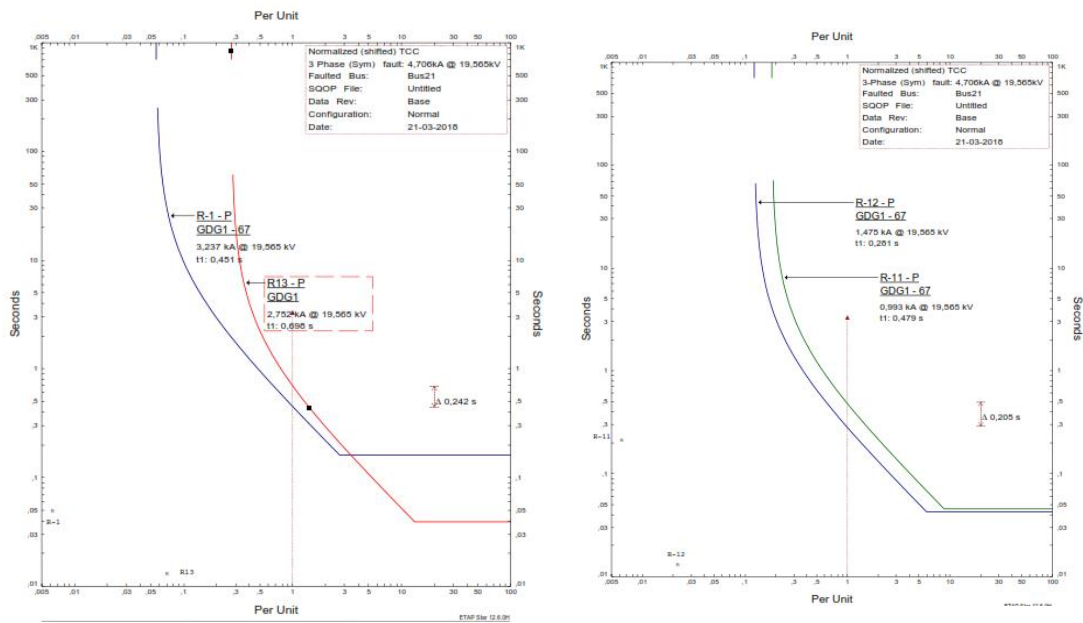
- Terjadi hubung singkat pada Bus 19



- Terjadi hubung singkat pada Bus 17

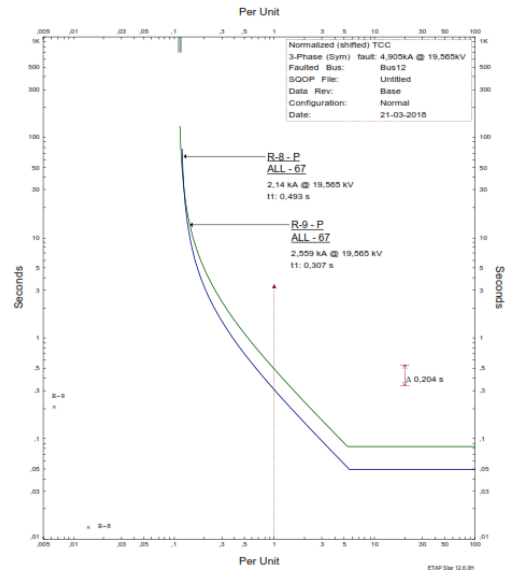
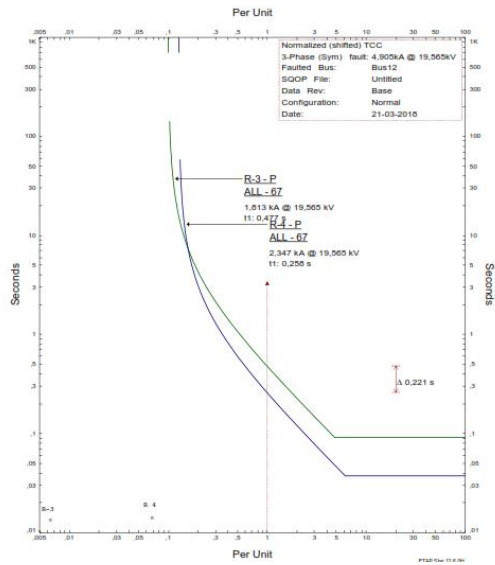


- Terjadi hubung singkat pada Bus 12

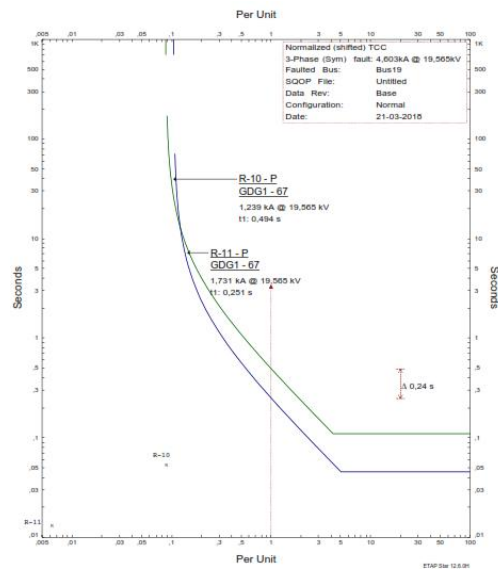
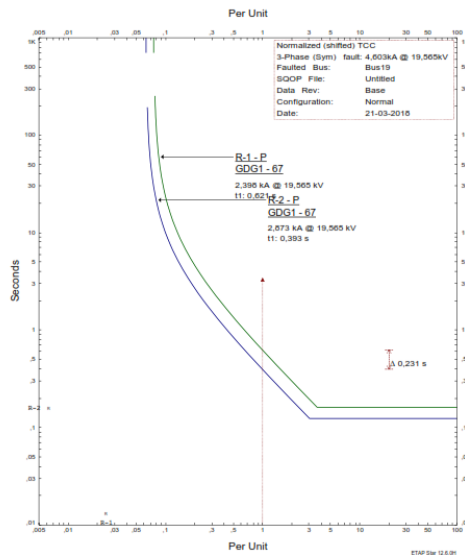


b) Skema 2

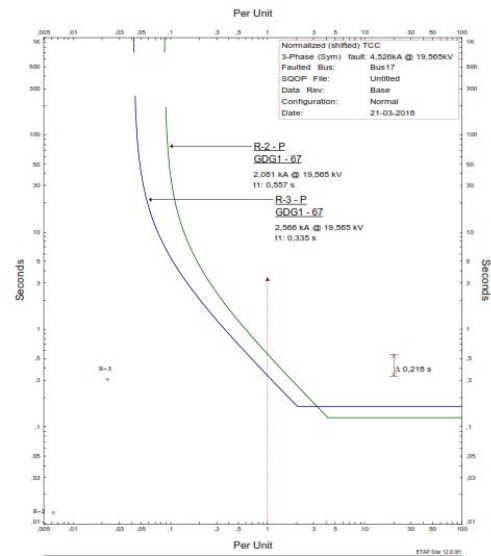
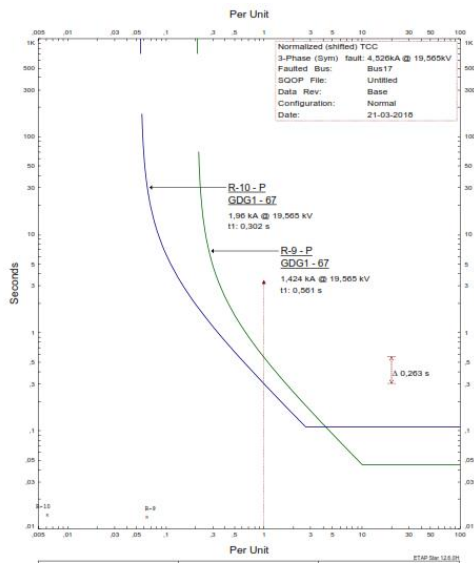
- Terjadi hubung singkat pada Bus 21



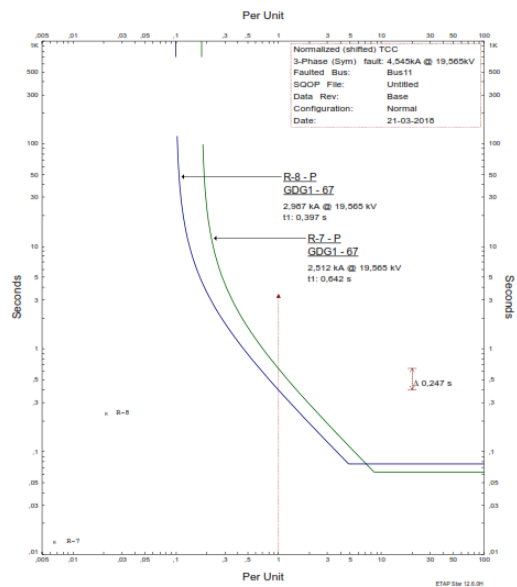
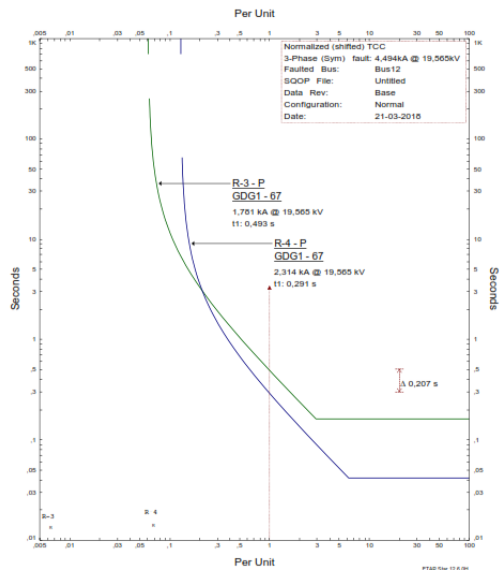
- Terjadi hubung singkat pada Bus 19



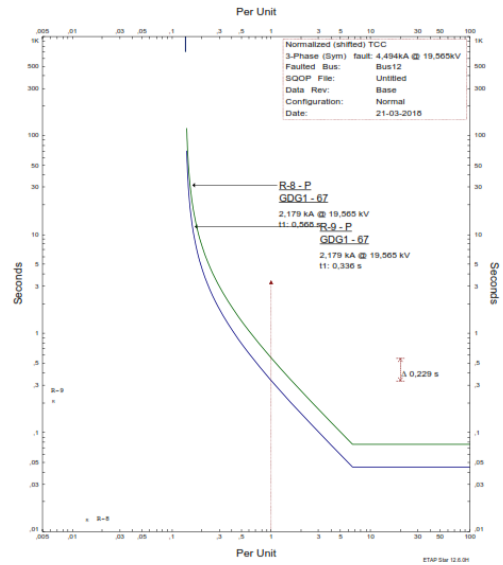
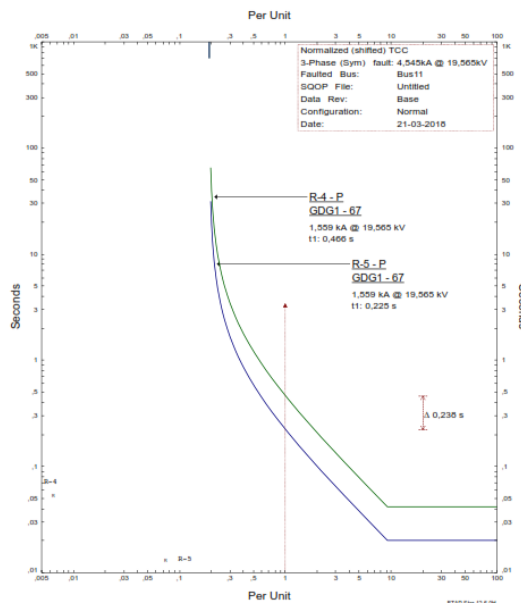
- Terjadi hubung singkat pada Bus 17



- Terjadi hubung singkat pada Bus 5 dan Bus 7

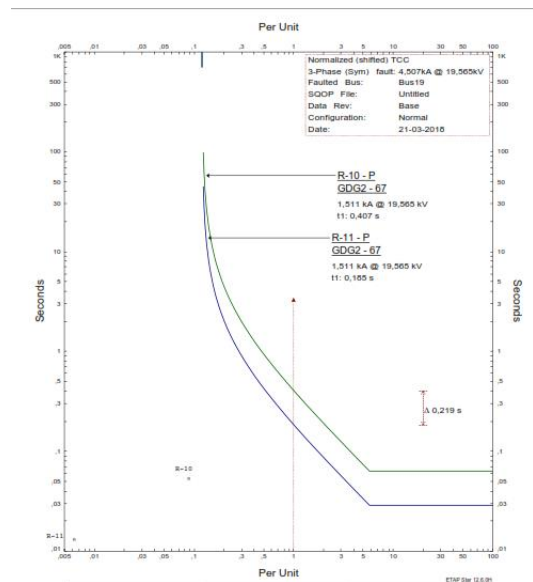
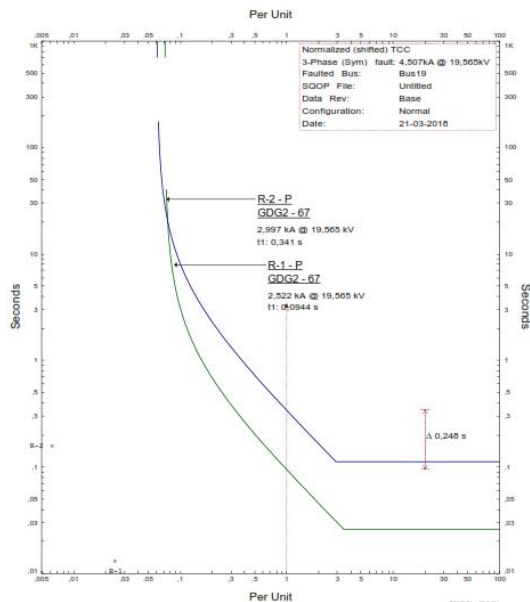


- Terjadi hubung singkat pada Bus 11

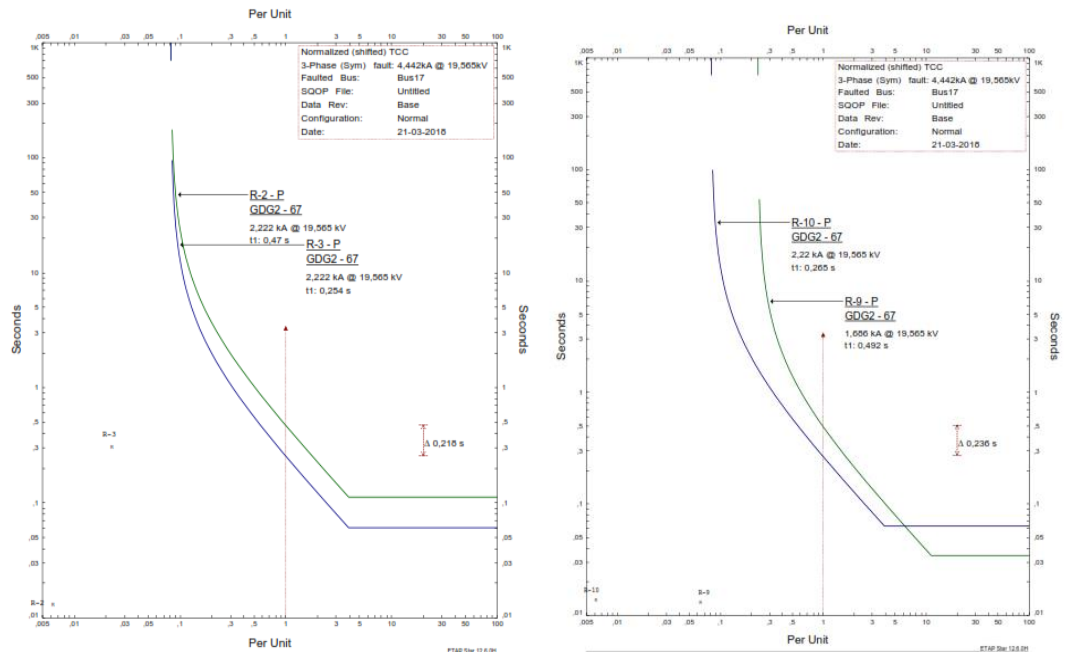


c) Skema 3

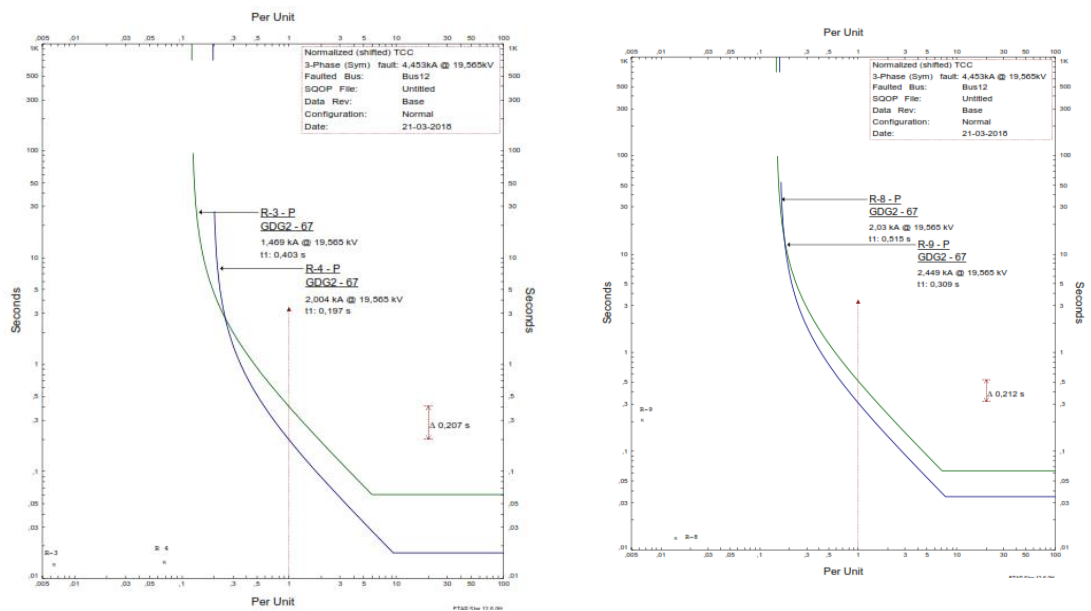
- Terjadi hubung singkat pada Bus 19



- Terjadi hubung singkat pada Bus 17

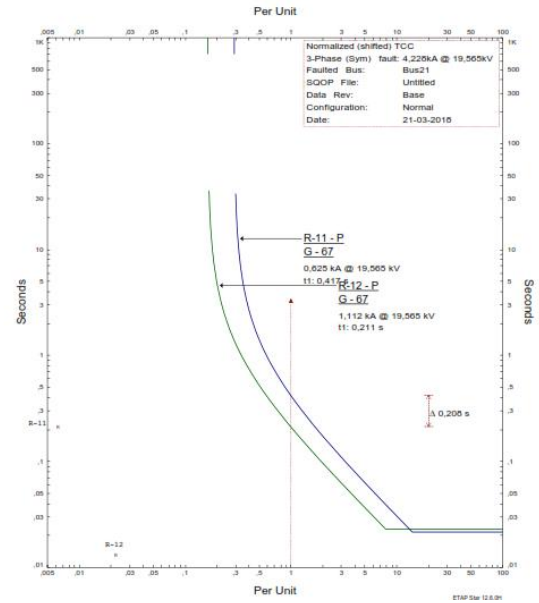
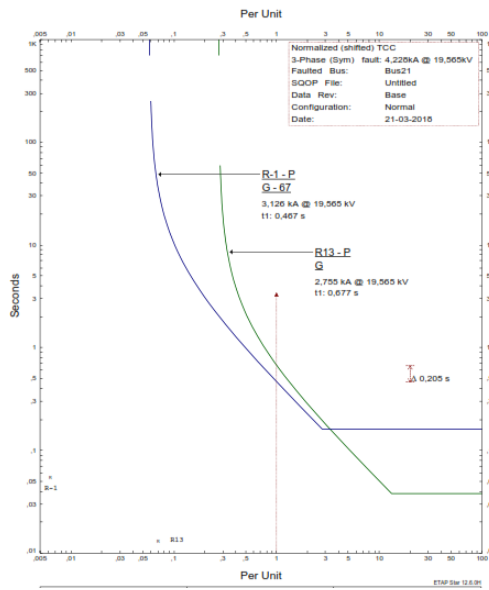


- Terjadi hubung singkat pada Bus 12

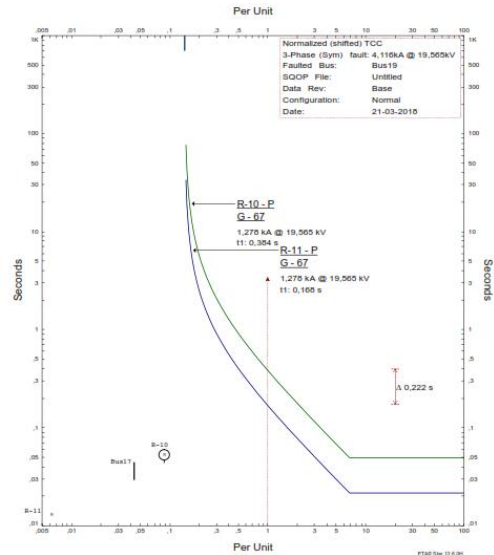
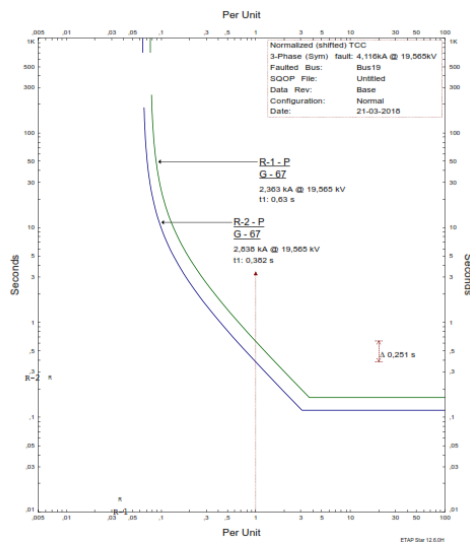


d) Skema 4

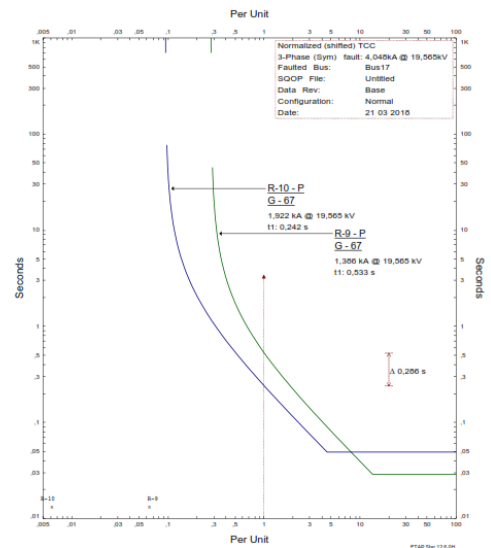
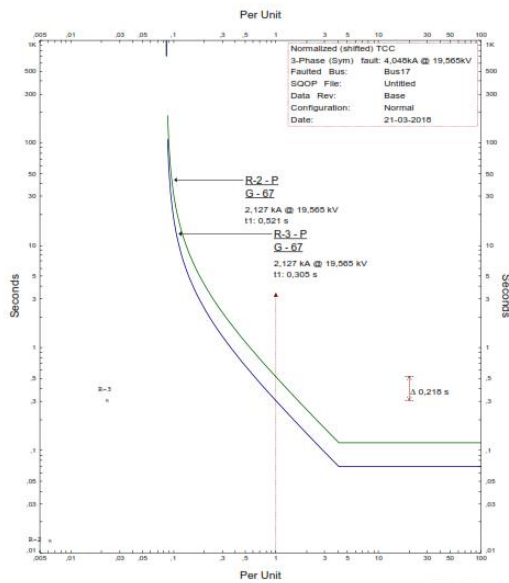
- Terjadi hubung singkat pada Bus 21



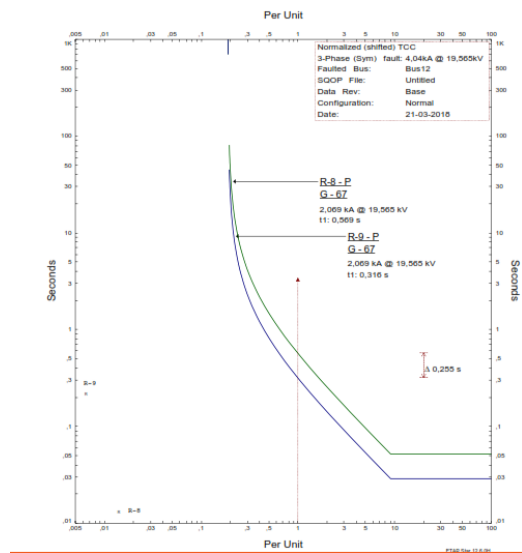
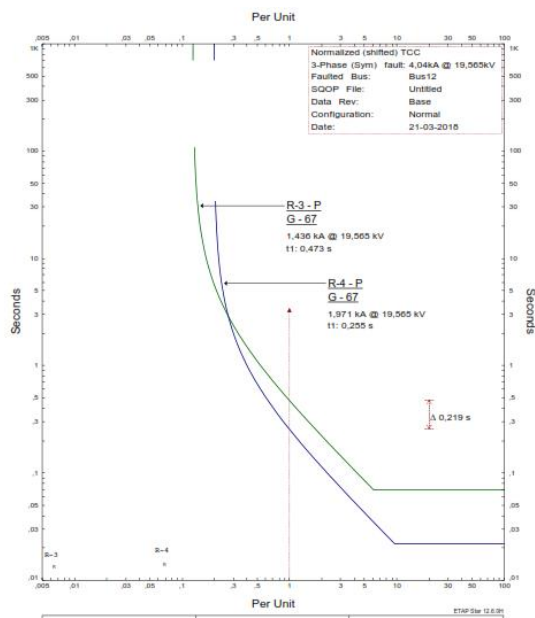
- Terjadi hubung singkat pada Bus 19



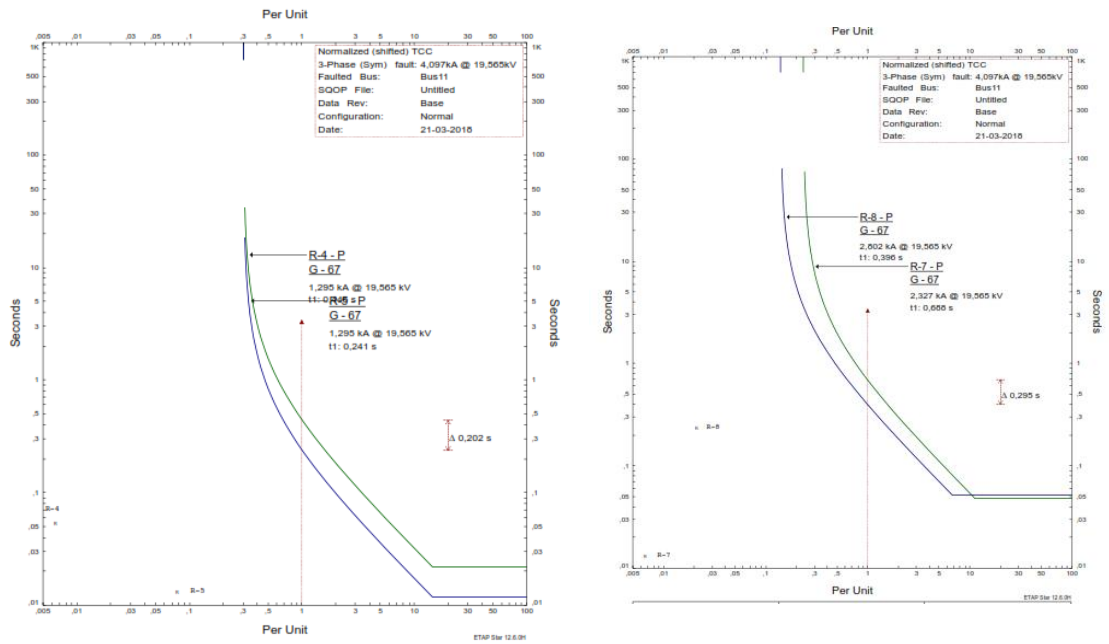
- Terjadi hubung singkat pada Bus 17



- Terjadi hubung singkat pada Bus 12



- Terjadi hubung singkat pada Bus 11



2. Bobot Hasil Pelatihan dari ANN

Bobot Awal

Neuron	x1	x2	x3
z1	8,259355	1,257099	-7,03999
z2	-0,01071	-2,89121	0,205253
z3	1,820073	-3,0101	-0,60554
z4	-0,59065	-0,62362	-0,52126
z5	0,923488	35,08549	0,501614
z6	0,522413	9,013827	-0,24548
z7	0,002263	-1,40773	-0,05014
z8	0,883003	6,294975	-0,15362
z9	0,807931	1,677528	0,203977
z10	-0,08962	1,205427	0,3669
z11	-0,66832	-13,245	0,481322
z12	-0,13099	-4,66327	0,105343
z13	0,685209	30,3684	1,022594
z14	-1,5592	12,40749	-0,10887
z15	-0,47994	-0,77697	0,567992

Bobot Akhir

Neuron	y1	y2	y3
z1	0,28399	-0,3008	-1,002
z2	0,57749	-0,8674	-0,5985
z3	-0,5051	-0,4295	-1,2103
z4	0,17995	-0,5619	-0,9895
z5	0,68708	-0,0148	-0,6044
z6	1,08424	-1,1865	0,58446
z7	-0,5786	0,82804	-1,0374
z8	0,06296	0,25734	-1,0249
z9	0,1355	0,12759	-1,0298
z10	-0,7925	-0,1595	-1,3754
z11	0,30492	0,06878	-0,9207
z12	0,23295	-0,2735	-1,035
z13	-1,3026	0,00752	-0,3187
z14	-4E-17	1,5E-17	-2E-17
z15	0,19564	-0,1822	1,22975
z16	0,75892	0,40308	1,16837
z17	-0,3491	0,33303	0,95833
z18	0,00048	-0,5576	0,85764
z19	1,16578	0,02763	0,07976
z20	-0,1233	-0,5155	0,78111
z21	0,00048	-0,5576	0,85764
z22	-0,3491	0,33303	0,95833
z23	0,75892	0,40308	1,16837
z24	0,19564	-0,1822	1,22975
z25	-2E-18	9E-18	1,4E-17
z26	-7E-18	1,2E-17	-1E-17

3. Bias Hasil Pelatihan dari ANN

Neuron	Bias Awal
z1	-4,5502
z2	0,60363
z3	-3,2987

Neuron	Bias Akhir
z1	-0,0859
z2	0,15911
z3	-0,4762
z4	-0,1178
z5	0,16923
z6	0,66246
z7	-0,5246
z8	-0,2131
z9	-0,1764
z10	-0,6521
z11	-0,0745
z12	-0,117
z13	-0,6482
z14	0,97802
z15	0,3702
z16	0,58028
z17	0,04584
z18	0,21673
z19	0,53261
z20	0,14295
z21	0,21673
z22	0,04584
z23	0,58028
z24	0,3702
z25	0,97802
z26	0,97802

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Destina Surya Lestari, lahir pada tanggal 30 Desember 1990 di Madiun, anak kedua dari tiga bersaudara.

Penulis memasuki jenjang Pendidikan formal di MI hidayatul Shibyan, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 1 Sawahan, dan SMA Negeri 5 Madiun. Kemudian melanjutkan jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2009 dengan mengambil jurusan Teknik Elektro bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan jenjang program magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil jurusan Teknik elektro bidang studi Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email destina.lestari@gmail.com.